



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ  
ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ - ΣΥΣΤΗΜΑ  
ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ**

Διπλωματική Εργασία

Λεωνίδας Αναστασόπουλος

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Βόλος 2020



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ  
ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ - ΣΥΣΤΗΜΑ  
ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ**

Διπλωματική Εργασία

Λεωνίδας Αναστασόπουλος

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας

Βόλος 2020



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**ENERGY PRODUCTION WITH THE HYDRO-PUMPED  
STORAGE METHOD – HYDRO-PUMPED STORAGE  
AMPILOCHIA**

Diploma Thesis

Leonidas Anastasopoulos

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

Volos 2020

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Δημήτριο Μπαργιώτα, για την καθοδήγησή του τόσο κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας όσο και κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ και συγκεκριμένα την Πολιτικό Μηχανικό Κατερίνα Δημοπούλου για την βοήθειά της και για την παροχή χρήσιμων στοιχείων.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη τους και για όλα όσα μου έχουν προσφέρει και εξακολουθούν να μου προσφέρουν.

## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο/Η Δηλών/ούσα

(Υπογραφή)

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή/ήτριας

Ημερομηνία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας ώστε να γίνει αντιληπτή η σπουδαιότητα και η αναγκαιότητα της ανάπτυξης των μεθόδων αυτών. Στην αρχή αναλύονται οι τρόποι παραγωγής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές. Εξαιτίας του περιβαλλοντικού προβλήματος, οι ΑΠΕ τα τελευταία χρόνια αυξάνουν ραγδαία το ποσοστό τους στο ενεργειακό ισοζύγιο και η λειτουργία τους απαιτεί συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για την σταθεροποίηση του δικτύου αλλά και για την λειτουργία των αυτόνομων συστημάτων.

Στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά στην αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες, μέσω πεπιεσμένου αέρα, την αποθήκευση με σφονδύλους και κυψέλες καυσίμου αλλά και από υπερπυκνωτές και την υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση ενέργειας. Το μεγαλύτερο ποσοστό της μελέτης επικεντρώνεται στην μέθοδο αποθήκευσης με αντλησιοταμιευτικά έργα με έμφαση στα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλησιοταμίευσης καθώς και στα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου. Τέλος, παρουσιάζεται το έργο Αντλησιοταμίευσης Αμφιλοχίας της ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ που πρόκειται να αποτελέσει το μεγαλύτερο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στην Ελλάδα.

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to analyze the methods of energy storage in order to understand the importance and necessity of the development of these methods. At the beginning the ways of producing energy from renewable sources are analyzed. Due to the environmental problem, in recent years renewable sources has been rapidly increasing their energy balance and their operation requires energy storage systems to stabilize the grid but also for the operation of autonomous systems.

Substantial reference was then made to energy storage with batteries, through compressed air, storage with flywheels and fuel cells, by superconductors and superconducting magnetic energy storage. The bulk of the study focused on the pumping storage method with emphasis on the technical characteristics of pumping and the advantages of this method. Finally, the Ampilochia Pumping Storage project of TERNA ENERGY, which will be the largest energy storage systems in Greece, was presented.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....</b>	<b>viii</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Παραγωγή Ενέργειας .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	1
1.1.2 Ενεργειακή Ζήτηση .....	3
1.1.3 Περιβαλλοντικό Πρόβλημα .....	6
1.1.4 Πολιτική και Περιβάλλον .....	8
<b>1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....</b>	<b>9</b>
1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια .....	10
1.2.3 Βιομάζα / Βιοαέριο .....	12
1.2.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια.....	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Ανάγκη Ενεργειακής Αποθήκευσης .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Μέθοδος Αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες.....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Μπαταρίες λιθίου – ιόντων (Li-ion) .....	18
2.2.2 Μπαταρίες νατρίου – θείου (NaS).....	19
2.2.3 Μπαταρίες μολύβδου – οξέος (Lead Acid).....	20
2.2.4 Μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni – Cd) .....	21
<b>2.3 Υπόλοιπες Μέθοδοι Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Αποθήκευση Πεπιεσμένου Αέρα (Compressed air energy storage – CAES).....	23
2.3.3 Κυψέλες καυσίμου (fuel cells) .....	27
2.3.4 Υπερπυκνωτές (supercapacitors).....	28
2.3.5 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευσης Ενέργειας (SMES) .....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Γενικά στοιχεία .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αντλησιοταμίευσης.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Περιγραφή Συστήματος Αντλησιοταμίευσης .....</b>	<b>35</b>
3.3.1 Αντλίες .....	35
3.3.2 Υδροστρόβιλοι .....	37
3.3.2 Ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός αποθήκευσης – απόδοσης ενέργειας .....	40
<b>3.4 Συστήματα Αντλησιοταμίευσης υπό λειτουργία .....</b>	<b>41</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 Γενικά Χαρακτηριστικά .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά .....</b>	<b>46</b>
4.3.1 Κάτω Ταμιευτήρας .....	46
4.3.2 Σύστημα Αντλησιοταμίευσης «Άγιος Γεώργιος» .....	47



4.3.3 Σύστημα Αντλησιοταμείωσης «Πύργος» .....	48
<b>4.4 Συνοδά Έργα.....</b>	<b>51</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>56</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>58</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Παραγωγή Ενέργειας

#### 1.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Πριν από τη βιομηχανική επανάσταση, οι ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων ήταν ελάχιστες. Για την θέρμανση, στηρίζονταν στην θερμότητα από τις ακτίνες του ηλίου και στη συνέχεια, με την ανακάλυψη της φωτιάς, στην καύση ξύλων όταν οι θερμοκρασίες ήταν χαμηλές, με τη βιομάζα να είναι η πρώτη μορφή παραγωγής ενέργειας. Για τις μετακινήσεις, χρησιμοποιούσαν κυρίως τα άλογα στη στεριά και την δύναμη του ανέμου στα πανιά των ιστιοφόρων πλοίων για μετακινήσεις στη θάλασσα. Σταδιακά, κατάφεραν να χρησιμοποιούν τα ζώα τους για να τους βοηθούν στις γεωργικές τους εργασίες. Τον 12<sup>ο</sup> αιώνα κάνουν την εμφάνισή τους οι πρώτοι ανεμόμυλοι με σκοπό την άλεση των δημητριακών καθώς και την παροχή νερού από λίμνες και ποτάμια. Μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα ο άνθρωπος εκμεταλλεύονταν κυρίως την ενέργεια του ήλιου, του ανέμου, του νερού και της βιομάζας.

Κάποιες πηγές, αναφέρουν πως από την περίοδο της Αρχαίας Αλεξάνδρειας πρωτοεμφανίστηκαν απλές μηχανές που βασίζονταν στην ικανότητα να αξιοποιήσουν την ισχύ του ατμού [1]. Η εξέλιξη της ατμομηχανής συνεχίστηκε με την πάροδο του χρόνου και σηματοδοτήθηκε σημαντικά τον 17ο και 18ο αιώνα. Οι Thomas Newcomen και James Watt στα μέσα του 1700 όμως ήταν αυτοί που δημιούργησαν τη σύγχρονη ατμομηχανή, ανοίγοντας νέες δυνατότητες στην ανθρωπότητα. Η μηχανή του Newcomen, βοήθησε στην εξόρυξη γαιάνθρακα, αντλώντας γρήγορα νερό από τα ορυχεία, μειώνοντας τις πλημμύρες. Μια μετατροπή της μηχανής του Newcomen από τον James Watt, που κατάφερε να αποχωρίσει τον συμπυκνωτή από τον κύλινδρο τον οποίο περιέβαλε με ατμό για την αποφυγή της ψύξης, έκανε την εξόρυξη άνθρακα ακόμα πιο αποδοτική με αποτέλεσμα η ατμομηχανές να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία γκάμα εφαρμογών.

Ο γαιάνθρακας ήταν πιο βολικός από την άνεμο και πιο αποδοτικός από τα άλογα και έτσι οι ατμομηχανές σύντομα τροφοδοτούσαν τρένα, πλοία και εργοστάσια. Ο γαιάνθρακας χρησιμοποιήθηκε επίσης για τη θέρμανση κτιρίων και τη χύτευση σιδήρου σε χάλυβα. Ο Thomas Edison στο εργοστάσιο του στη Νέα Υόρκη, το 1880

χρησιμοποιώντας μια ατμομηχανή που συνδεδεμένη με την πρώτη ηλεκτρική γεννήτρια στον κόσμο παρείχε το πρώτο ηλεκτρικό φως στους χρηματοδότες της Wall Street και στους New York Times.

Ένα χρόνο αργότερα, το πρώτο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στον κόσμο ξεκίνησε να λειτουργεί στο Άπλετον του Ουισκόνσιν από τον Edison . Αντί για την χρήση των ποταμιών για την άλεση του σιταριού, το εργοστάσιο του παρήγαγε ηλεκτρικό ρεύμα ικανό να τροφοδοτεί τρία κτίσματα [2]. Ο πρώτος σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με γαιάνθρακα, λειτούργησε το 1882 από την εταιρία Edison Illuminating Company για την παροχή ηλεκτρικού φωτισμού στην πόλη του Μανχάταν. Ο σταθμός παρείχε 110V σε συνεχές ρεύμα (DC) για 59 κτίσματα. Στον σταθμό Pearl Street, έξι γεννήτριες βάρους 27 τόνους έδιναν ισχύ 100 kW. Μέσω του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) κατάφεραν να διανέμουν το ρεύμα σε αποστάσεις δεκάδων χιλιομέτρων με την χρήση μετασχηματιστών που έχουν την δυνατότητα χαμηλής τάσης για την παραγωγή και την διανομή στους χρήστες και υψηλής τάσης για την μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις με χαμηλό κόστος και λιγότερες απώλειες.

Μετά το τέλος την Βιομηχανικής Επανάστασης, μια νέα μορφή καυσίμου εμφανίστηκε, το πετρέλαιο. Για χρόνια το πετρέλαιο αποτελούσε πρόβλημα στους ανθρώπους καθώς μόλυνε το πόσιμο νερό στα πηγάδια. Αρχικά πωλούνταν ως φάρμακο, αλλά στη συνέχεια έγινε το νούμερο ένα εμπόρευμα για τον ηλεκτρισμό. Μέχρι τις αρχές του αιώνα, το αργό πετρέλαιο μετατράπηκε σε βενζίνη τροφοδοτώντας τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα ξεκινώντας από τη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη οι μεγάλες πόλεις ηλεκτροδοτήθηκαν κάνοντας ευκολότερη τη ζωή των κατοίκων τους.

Λόγω της ανάγκης για ολοένα και περισσότερη ενέργεια, νέες μορφές παραγωγής ενέργειας κάνουν την εμφάνιση τους. Τον Δεκέμβριο του 1951 ξεκινάει την λειτουργία του ο πρώτος, πολύ μικρός, πυρηνικός αντιδραστήρας στο Αϊντάχο των ΗΠΑ με την Σοβιετική Ένωση, στο Ομπίνσκ, να θέτει σε λειτουργία τον Ιούνιο του 1954 τον πρώτο πυρηνικό ηλεκτροπαραγωγό. Η ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας ήταν ραγδαία στα επόμενα χρόνια καθώς κατάφερνε να παράγει πολύ φθινό ρεύμα. Μάλιστα ο τότε πρόεδρος της Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας των ΗΠΑ, Λιούις Στράους, είχε προβλέψει ότι το 2000 στις ΗΠΑ θα λειτουργούσαν 1.000 πυρηνικοί σταθμοί [3]. Οι σοβαρές επιπτώσεις όμως, σε ανθρώπινες ζωές και σε περιβάλλον, σε πιθανό πυρηνικό ατύχημα είναι τεράστιες, με

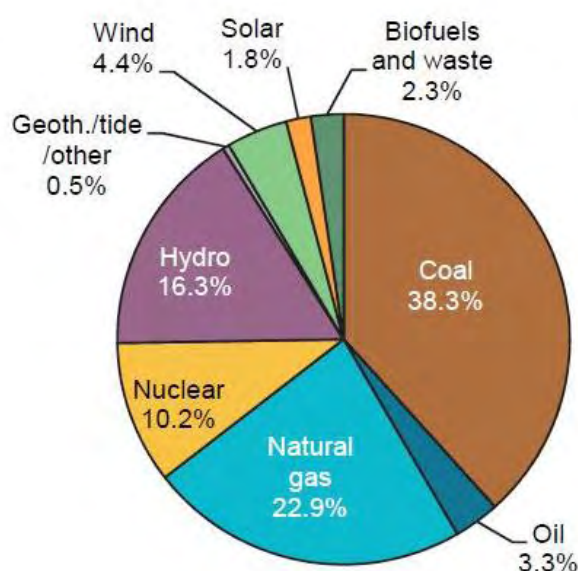
αποτέλεσμα, μετά το ατύχημα στο Τσερνόμπιλ στις 26 Απριλίου του 1986 καθώς και το ατύχημα στις 11 Μαρτίου 2011 στη Φουκουσίμα, ανάγκασαν πολλές χώρες να καταργήσουν τους πυρηνικούς τους σταθμούς υπό το φόβο μιας ακόμη καταστροφής.

Ενώ η ενέργεια από τον άνεμο χρησιμοποιούταν σε διάφορες εφαρμογές, το 1957 ο Δανός Johannes Juul, κατασκεύασε μια ανεμογεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οριζόντιου άξονα, με 3 λεπίδες και διάμετρο 24 μέτρα. Είχε χωρητικότητα 200kW και είχε παρόμοιο σχεδιασμό με την ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Το 1954, τρεις ερευνητές στο Bell Laboratories ανακάλυψαν την πρώτη φωτοβολταϊκή κυψέλη στον κόσμο, η οποία είχε την δυνατότητα να μετατρέψει το φως του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια, στην αρχή στο 4% και αργότερα στο 6% απόδοσης. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1959 η Sharp Corporation ξεκίνησε την έρευνα και την ανάπτυξη μονοκρυσταλλικών κυψελών πυριτίου PV για μαζική παραγωγή, που ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται το 1963 με εφαρμογή σε οικιακή χρήση έως και εξοπλισμό δορυφόρων.

### 1.1.2 Ενεργειακή Ζήτηση

Από το 1974 έως το 2017, η παγκόσμια ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε από 6.298 TWh σε 25.721 TWh, με μέση ετήσια αύξηση 3,3%. Από το 1974, παρατηρείται συνεχόμενη αύξηση από έτος σε έτος στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με μοναδικές εξαιρέσεις τα έτη 2008 και 2009, λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης η οποία οδήγησε σε μείωση της παραγωγής. Μέχρι το 2000 οι χώρες-μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης - Ο.Ο.Σ.Α (Organization for Economic Co-operation and Development – OECD) είχαν αύξηση κατά έτος με ποσοστό 4,6% σε σύγκριση με τις χώρες εκτός Ο.Ο.Σ.Α που είχαν ποσοστό 3%. Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης χωρών όπως η Κίνα και η Ινδία, από το 2000 έως το 2010, ο ρυθμός αύξησης για τις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α μειώθηκε στο 1,1% σε αντίθεση με τις χώρες εκτός Ο.Ο.Σ.Α που παρουσίασαν ρυθμό ετήσιας αύξησης της παραγωγής ίσο με 6,4% με αποτέλεσμα το 2011 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κρατών εκτός Ο.Ο.Σ.Α να ξεπεράσει την παραγωγή των κρατών του Ο.Ο.Σ.Α για πρώτη φορά και μέχρι στιγμής συνεχίζει να αυξάνει το μερίδιό της [4].

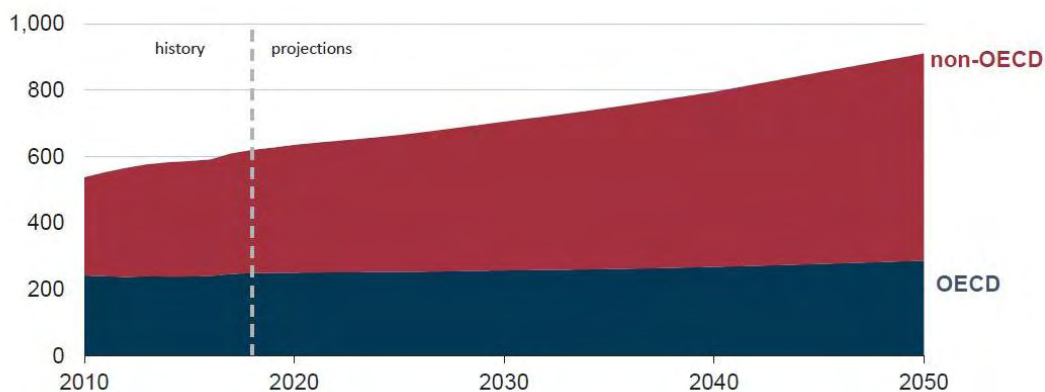
Σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency), το 2017 τα καύσιμα οφείλονταν για το 66,8% της συνολικής παραγωγής ενέργειας, με τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς να ακολουθούν με 16,3%, την πυρηνική ενέργεια να καταλαμβάνει το 10,2% και τα Αιολικά και Φωτοβολταϊκά πάρκα 4,4% και 1,8% αντίστοιχα [Εικόνα 1.1].



Εικόνα 1.1: Παγκόσμια Παραγωγή Ενέργειας, 2017

Οι προβλέψεις αναφέρουν ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα αυξηθεί μέσα στα επόμενα 30 χρόνια κατά 2 δισεκατομμύρια, ανεβαίνοντας από τα 7.7 δις (2019) στα 9.7 δις με πιθανότητα στο τέλος του αιώνα να αξίζει τα 11 δις [5] με άμεσο επακόλουθο την αύξηση της ζήτησης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τη μελέτη του U.S Energy Information Administration (IEO2019), μέχρι το 2050 αναμένεται αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 50% με αποτέλεσμα η ετήσια παγκόσμια κατανάλωση να φτάσει τα 911 τετράκις εκατομμύρια btu [6, Εικόνα 1.2].

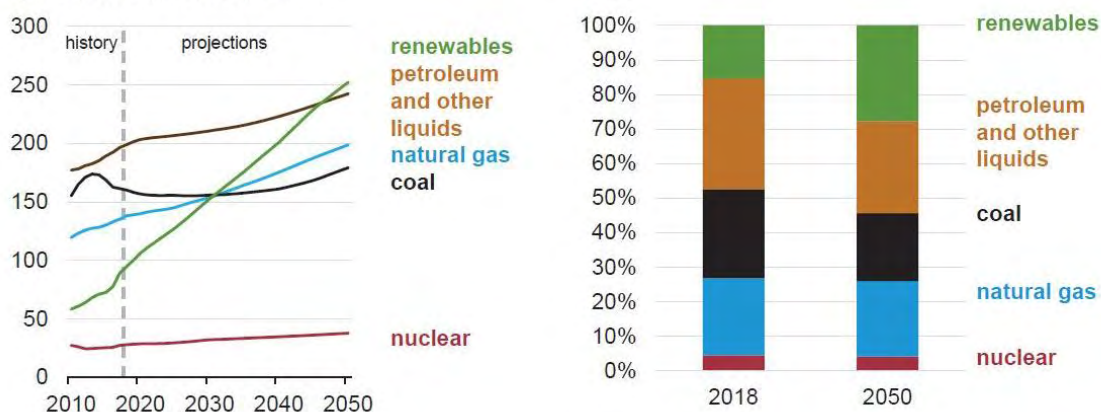
**World energy consumption**  
quadrillion British thermal units



Εικόνα 1.2: Προβλέψεις Παγκόσμιας Κατανάλωσης Ενέργειας

Κύριο λόγο στη μεγάλη αύξηση θα έχουν οι χώρες της Ασίας και της Αφρικής που δεν ανήκουν στον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης με κυριότερες τις Κίνα και Ινδία. Σύμφωνα με τις έρευνες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής ενέργειας τετραπλασιάζοντας τη συνολική τους παραγωγή μέχρι το 2050. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3, λόγω της τεράστιας αύξησης της ζήτησης όλες οι μορφές παραγωγής ενέργειας θα αυξήσουν σημαντικά την παραγωγή τους σε btu, παρότι τα ποσοστά τους στο συνολικό ισοζύγιο αναμένεται να μειωθούν.

**Primary energy consumption by energy source, world**  
quadrillion British thermal units



Εικόνα 1.3: Παγκόσμια Κατανάλωση Ενέργειας ανά καύσιμο

Πιο συγκεκριμένα, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προβλέπεται να έχουν ρυθμό αύξησης 3% ετησίως της παραγωγής τους μέχρι το 2050 και την πυρηνική ενέργεια να

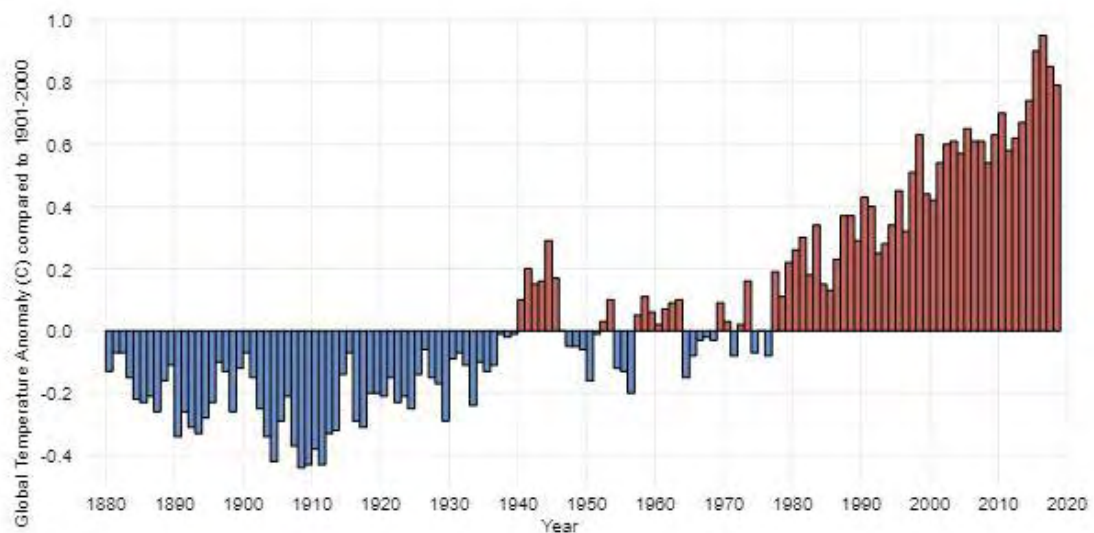
ακολουθεί με ρυθμό 1% ετησίως. Το φυσικό αέριο, όσον αφορά τα ορυκτά καύσιμα, παρουσιάζει τον μεγαλύτερο ρυθμό εκμετάλλευσης με 1,1% ετησίως σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ορυκτά καύσιμα που αναμένεται να έχουν αύξηση κατά 0.6% ανά χρόνο. Ενδιαφέρον παρουσιάζεται στις προβλέψεις της παγκόσμιας κατανάλωσης άνθρακα, καθώς προβλέπεται να μειωθεί μέχρι το 2030 καθώς αντικαθίσταται από το φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαιτίας του κόστους εξόρυξης αλλά και λόγω περιβαλλοντικών κανονισμών. Παρόλα αυτά, παρατηρείται αύξησή του ξανά το 2040 εξαιτίας της ραγδαίας βιομηχανικής ανάπτυξης και της ολοένα αυξανόμενης ανάγκης για ηλεκτρική ενέργεια στις χώρες που δεν ανήκουν στον Ο.Ο.Σ.Α, μη συμπεριλαμβανομένης της Κίνας [6].

### 1.1.3 Περιβαλλοντικό Πρόβλημα

Εξαιτίας την αύξησης του πληθυσμού και της απαιτούμενης ενέργειας, κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης το 1973 έκανε την εμφάνισή του το ενεργειακό πρόβλημα. Οι ποσότητες των ορυκτών κοιτασμάτων δεν είναι άφθονες με αποτέλεσμα σε μερικά χρόνια να εξαντληθούν. Επιπλέον, αυτός ο ορυκτός πλούτος συγκεντρώνεται σε λίγες χώρες στον πλανήτη με αποτέλεσμα να δημιουργούνται έντονες διακυμάνσεις στην τιμή εισαγωγής τους από τις υπόλοιπες χώρες που δεν διαθέτουν ορυκτά κοιτάσματα. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε οικονομική και πολιτική εξάρτηση από τις προμηθεύτριες χώρες, από τις χώρες που τα εισάγουν. Πολύ σημαντικό είναι και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνει η χρήση των ορυκτών καυσίμων, στην υγεία αλλά και στο οικοσύστημα.

Τα τελευταία χρόνια η αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) έχει οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως οι μεταφορές και η παραγωγή ενέργειας. Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας οφείλεται για το 25% των παγκόσμιων εκπομπών από τον άνθρωπο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι η δεύτερη μεγαλύτερη απειλή με ποσοστό 27,5% πίσω μόνο από τις μεταφορές (28,9%) [7]. Όσον αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας, σύμφωνα με το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικών Πληροφοριών της Αμερικής, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα και αυξανόμενη ανωμαλία ανάμεσα στη μέση ετήσια παγκόσμια θερμοκρασία και στην

μακροπρόθεσμο μέσο όρο θερμοκρασίας από το 1901 έως το 2000. Στην εικόνα 1.4, η μηδενική γραμμή αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη μέση θερμοκρασία για ολόκληρο τον πλανήτη, οι μπλε ράβδοι τη διαφορά προς ψυχρότερα έτη και οι κόκκινες προς τα θερμότερα. Το 2016 υπήρξε το έτος με τη μεγαλύτερη απόκλιση, αγγίζοντας σχεδόν τον 1°C πάνω από τον μέσο όρο του εικοστού αιώνα. Αξίζει να τονίσουμε, ότι τελευταία φορά που η παγκόσμια ετήσια θερμοκρασία ήταν πιο χαμηλή από τον μέσο όρο ήταν το 1976. Ενδεικτικό του περιβαλλοντικού προβλήματος είναι και το γεγονός ότι τα εννέα από τα δέκα θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί από το 2005 και μετά.



Εικόνα 1.4: Ιστορικό της παγκόσμιας θερμοκρασίας της επιφάνειας από το 1880

Εξαιτίας των ανεξέλεγκτων εκπομπών ρύπων λοιπόν, ο πλανήτης μας υπερθερμαίνεται με αποτέλεσμα το λιώσιμο των πάγων και την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Η κλιματική αλλαγή οδήγησε στην αύξηση της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας κατά 11-16 εκατοστά τον εικοστό αιώνα με τις εκτιμήσεις να αναφέρουν ότι μπορεί να αυξηθεί κατά μισό μέτρο μέσα στον 21<sup>ο</sup> αιώνα. Σύμφωνα με μελέτη που δημοσιεύτηκε από τους Scott A. Kulp & Benjamin H. Strauss στο Nature Communications, αν δεν μειωθούν δραστικά οι εκπομπές άνθρακα, εδάφη που φιλοξενούν σήμερα 300 εκατομμύρια ανθρώπους, θα πλημμυρίζουν τουλάχιστον μία φορά το χρόνο μέχρι το 2050. Σε περίπτωση που δεν τηρηθούν οι υποσχέσεις που έχουν δοθεί στο πλαίσιο της συμφωνίας του Παρισιού, για τη σταδιακή μείωση των εκπομπών, τότε ο αριθμός αυτός μπορεί να αυξηθεί σε 640 εκατομμύρια ανθρώπους που θα απειλούνται σε παράκτιες και



όχι μόνο περιοχές έως το 2100, με τη στάθμη των θαλασσών να ανεβαίνει από 62 έως και 238 εκατοστά. Η τωρινή κατάσταση στις εκπομπές των ρύπων είναι ικανή να αυξήσει τη θερμοκρασία του πλανήτη κατά 5° C και τη στάθμη κατά 2 μέτρα, με αποτέλεσμα να χαθεί μια έκταση γης 1,79 εκατομμυρίων τετραγωνικών μέτρων – περίπου όσο το μέγεθος της Λιβύης και να απειληθούν με θανατηφόρες πλημμύρες μεγαλουπόλεις όπως η Νέα Υόρκη, η Σανγκάη και το Λονδίνο [8].

#### 1.1.4 Πολιτική και Περιβάλλον

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, γίνεται εύκολα αντιληπτή η επιτακτική ανάγκη της προστασίας του περιβάλλοντος από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Είναι ένα πολυδιάστατο φαινόμενο το οποίο δεν επηρεάζει μόνο το περιβάλλον αλλά και τις οικονομικές και πολιτικές σχέσεις μεταξύ των χωρών. Τα τελευταία 25 χρόνια, έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στην δημιουργία και τήρηση των νόμων που έχουν σκοπό τον περιορισμό των αέριων εκπομπών με στόχο την επίλυση του προβλήματος του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η αρχή έγινε το 1992 στο Ρίο ντε Τζανέιρο, με το συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (United Nations Conference on Environment and Development - UNCED) στο οποίο για πρώτη φορά συνδέθηκε η έννοια του περιβάλλοντος με την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη και αναγνωρίστηκε η ανάγκη για σταθεροποίηση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα κυριότερα ζητήματα που απασχόλησαν τους συμμετέχοντες στη διάσκεψη, είχαν να κάνουν με τη διεθνή συνεργασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, τη δημογραφική δυναμική, και την ανθρώπινη υγεία σε μια προσπάθεια να βελτιωθούν οι συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων του πλανήτη. Επιπλέον, δεσμευθήκαν οι απαραίτητοι οικονομικοί πόροι και ιδρύθηκαν διεθνή ιδρύματα καθώς και νομικά όργανα με αρμοδιότητα την προστασία του περιβάλλοντος και την εφαρμογή των 27 άρθρων που ψηφίστηκαν και τα οποία αποτελούν την «Ατζέντα 21», χωρίς όμως το νομικό πλαίσιο της συμφωνίας να είναι ικανό να συνετίσει τα έθνη που έδωσαν το παρόν, με αποτέλεσμα πολλά κράτη, με κυριότερο τις Η.Π.Α., να μην ανταποκριθούν στους στόχους που τέθηκαν. [9]

Η επόμενη σημαντική συνάντηση έγινε στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997 όπου και εγκρίθηκαν νομικά δεσμευτικοί στόχοι για την μείωση των εκπομπών ρύπων για τις ανεπτυγμένες χώρες. Με το Πρωτόκολλο του Κιότο, οι βιομηχανικές χώρες θα πρέπει να

μειώσουν τους βασικούς ρύπους που συνθέτουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικά το διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό 5,2% ως το 2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Το γεγονός όμως ότι αφορούσε μόνο τις ανεπτυγμένες χώρες, έδωσε τη δυνατότητα σε αρκετά κράτη να αμφισβητήσουν τη συμφωνία και να αποχωρήσουν μετά το τέλος της πρώτης περιόδου δεσμεύσεων. [10]

Τον Δεκέμβριο του 2015 στο Παρίσι, στην Διάσκεψη για την Κλιματική Αλλαγή 195 κράτη, υιοθέτησαν την συμφωνία, στόχος της οποίας ήταν να μειώσει την υπερθέρμανση «πέρα από τους δύο βαθμούς Κελσίου» με αρχικό στόχο την πτώση κατά 1.5 βαθμούς. Επιπλέον, δεσμεύτηκαν να μειώσουν άμεσα τις εκπομπές άνθρακα με σκοπό από το 2050 και μετά, τα δάση να έχουν την δυνατότητα να απορροφήσουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα, εγκρίθηκε ετήσια βοήθεια 100 δισεκατομμυρίων δολαρίων από τις αναπτυγμένες προς τις αναπτυσσόμενες χώρες, έτσι ώστε να συνδράμουν στην αντιμετώπιση των καταστροφών εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Με την καθολική ψήφιση της Συμφωνίας των Παρισίων αντικαταστάθηκε και επίσημα το Πρωτόκολλο του Κιότο και δόθηκε και επίσημα η απαιτούμενη παγκόσμια προσοχή στο πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. [11]

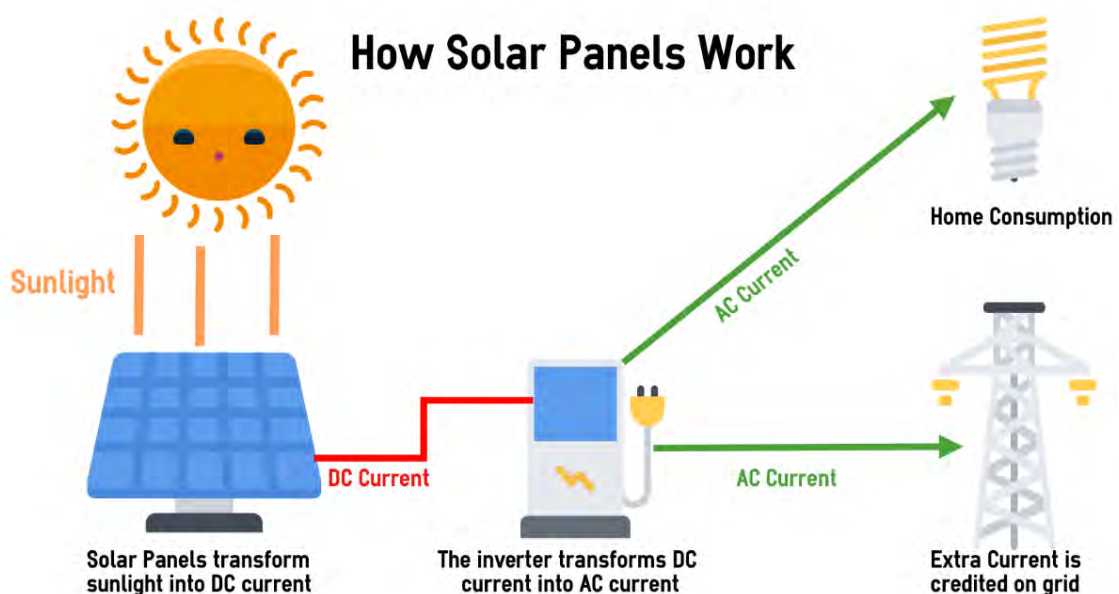
## **1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**

Λόγω της αναγκαιότητας για καθαρές ως προς το περιβάλλον ενέργειες με σκοπό την μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και των επικίνδυνων ρύπων αλλά και εξαιτίας της ανάγκης για απεξάρτηση από ενεργειακούς πόρους, όπως το πετρέλαιο που σύμφωνα με μελέτες αναμένεται να εξαντληθεί σε 53 χρόνια αν συνεχιστεί η κατανάλωσή του με τον ίδιο ρυθμό [12], τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ραγδαία αύξηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ.» [13]. Παρακάτω θα ασχοληθούμε με τις κυριότερες εξ αυτών που είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, η βιομάζα καθώς και η υδροηλεκτρική ενέργεια.

### 1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει μια καθαρή εναλλακτική λύση για ενέργεια χωρίς ορυκτά καύσιμα και δίχως περιβαλλοντική ρύπανση. Ο ήλιος μας είναι ένας φυσικός αντιδραστήρας. Μέσα στον πυρήνα του, οι αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης που πραγματοποιούνται, απελευθερώνουν μικροσκοπικά πακέτα ενέργειας, τα φωτόνια, που ταξιδεύουν 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα από τον ήλιο στη Γη σε περίπου 8.5 λεπτά. Τα φωτόνια που φτάνουν κάθε ώρα στον πλανήτη μας παράγουν τόση ηλιακή ενέργεια, που θεωρητικά μπορούν να ικανοποιήσουν τις παγκόσμιες ενεργειακές μας ανάγκες για ένα ολόκληρο έτος. Κάθε τετραγωνικό μέτρο στην επιφάνεια του πλανήτη, συγκεντρώνει καθημερινά 4.2kWh ενέργειας που αντιστοιχούν στο ενεργειακό ισοδύναμο ενός βαρελιού πετρελαίου για ένα έτος. Αυτή η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω των ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή ηλεκτρισμού [17].

Οι ηλιακοί συλλέκτες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χρησιμοποιήσιμο ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μιας διαδικασίας που αποκαλείται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το εισερχόμενο φως του ήλιου, χτυπά έναν ημιαγωγό πυριτίου που θέτει σε κίνηση τα ηλεκτρόνια δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται μέσω του ηλεκτρικού μετατροπέα (Inverter), μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα οικιακά δίκτυα [Εικόνα 1.5].



Εικόνα 1.5: Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκό πάνελ

### 1.2.2 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Αποτελεί μια «ήπια μορφή ενέργειας» και περιλαμβάνεται στις «καθαρές ενέργειες» καθώς δεν προκαλεί ρύπους. Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες.

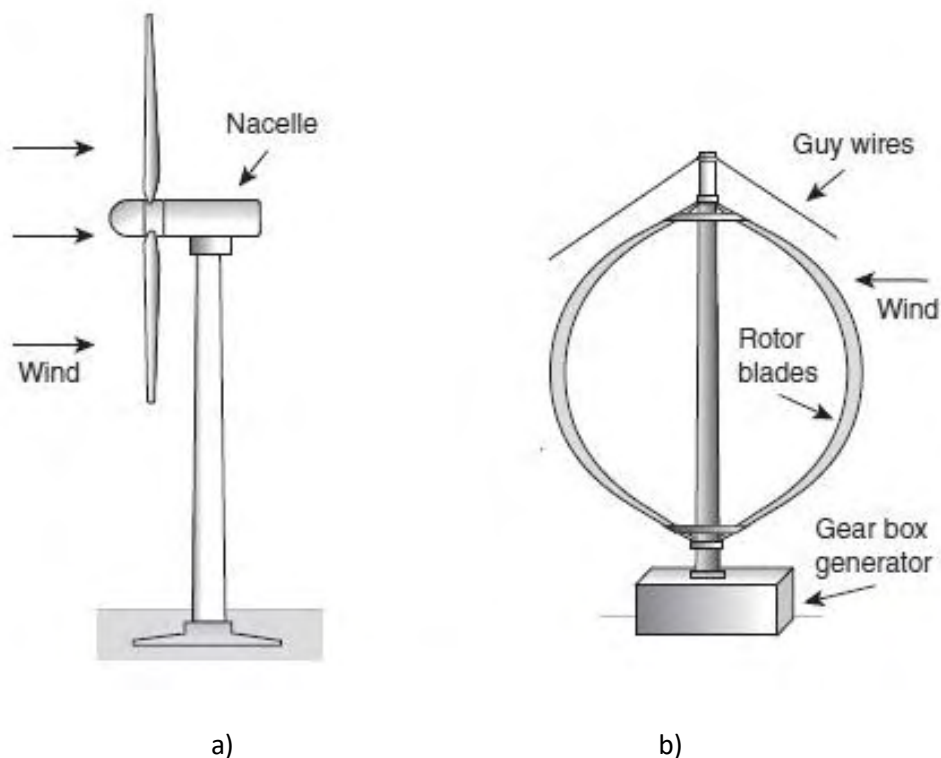
Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική [18].

Υπάρχουν αρκετά είδη ανεμογεννητριών με δύο βασικές να είναι οι εξής:

- Οριζόντιου άξονα με τον ρότορα του άξονα και την ηλεκτρική γεννήτρια να βρίσκονται στην κορυφή ενός πύργου, στραμμένοι προς την κατεύθυνση του ανέμου [Εικόνα 1.6a].
- Κατακόρυφου άξονα με τον ρότορα να είναι τοποθετημένος κάθετα στο έδαφος [Εικόνα 1.6b]

Σε μεγάλα αιολικά πάρκα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα τριών πτερυγίων μήκους 20-80 μέτρα ενώ ο πύργος κυμαίνεται από 70 έως και 160 μέτρα ύψος.

Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή [19].



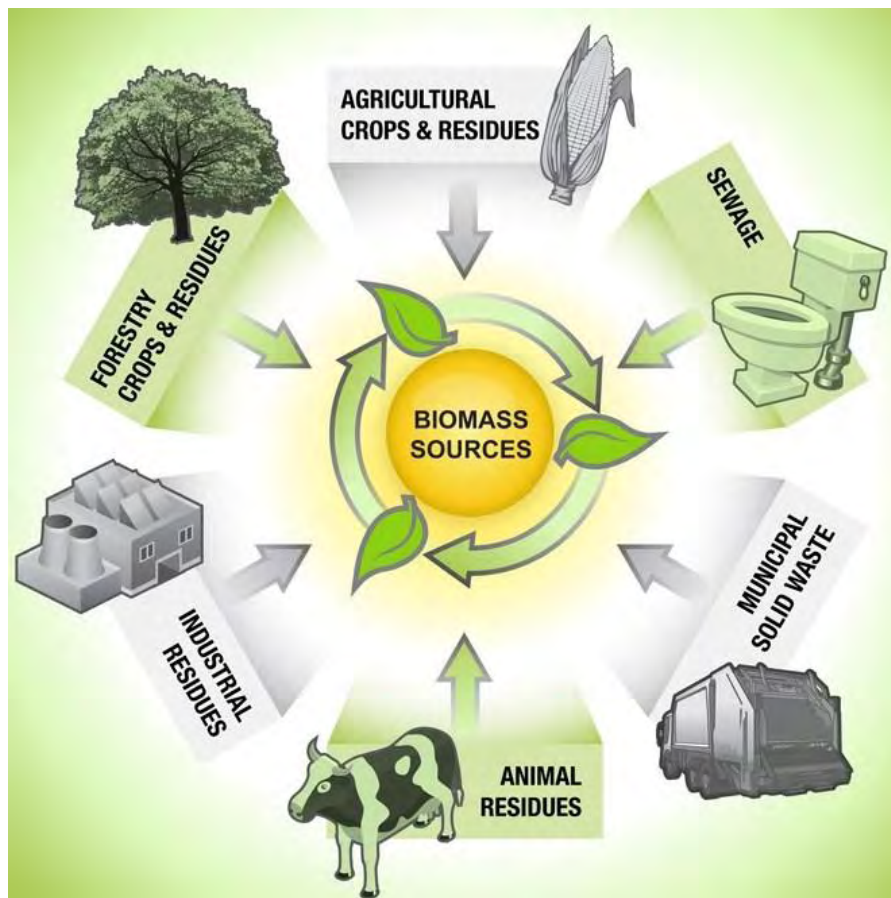
Εικόνα 1.6: a) Ανεμογεννήτρια Οριζόντιου Άξονα  
b) Ανεμογεννήτρια Κάθετου Άξονα  
ΠΗΓΗ: Renewable and Efficient Electric Power Systems, G. Masters

### 1.2.3 Βιομάζα / Βιοαέριο

Με τον όρο βιομάζα εννοούμε κάθε οργανική ύλη που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας και ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε αποθηκευμένη χημική, η οποία αποδίδεται κατά την καύση τους.. Μέσω του ήλιου και της φωτοσύνθεσης η βιομάζα αποκτά μεγάλο ενεργειακό απόθεμα με αποτέλεσμα τα ανόργανα υλικά, όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και το νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ) να μετατρέπονται σε οργανικά και να απελευθερώνεται οξυγόνο στο περιβάλλον.

Ο όρος βιομάζα συμπεριλαμβάνει όλα τα προϊόντα, υπολείμματα και απόβλητα φυτικής και ζωικής προέλευσης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας, όπως τα υπολείμματα ξύλου, τα ξύλινα υπολείμματα από βιομηχανίες ξύλου όπως το πριονίδι, τα δασικά και γεωργικά υπολείμματα, τα απόβλητα

φρούτων και λαχανικών καθώς και οι ενεργειακές καλλιέργειες όπως ο ευκάλυπτος και το καλάμι [Εικόνα 1.7]



Εικόνα 1.7: Πρώτη ύλη βιομάζας

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η αφθονία των πρώτων υλών που απαιτούνται κατά τη διαδικασία της καθώς και το γεγονός ότι οι παραγόμενες ποσότητες CO<sub>2</sub> δεσμεύονται μέσω της φωτοσύνθεσης και δεν επιβαρύνεται με θείο το περιβάλλον. Πέρα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η βιομάζα μπορεί παράλληλα να συνεισφέρει με ένα μονωμένο δίκτυο αγωγών, στην μεταφορά θερμότητας με σκοπό την τηλεθέρμανση. Στον αντίποδα, παρότι οι πόροι για την βιομάζα είναι σχεδόν ανεξάντλητοι, η αναγκαιότητα για συνεχή τροφοδοσία των μονάδων παραγωγής με πρώτη ύλη, επιφέρει δυσκολίες στη συλλογή των ενεργειακών πρώτων υλών [16].

#### 1.2.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Με τον όρο υδροηλεκτρική ενέργεια αναφερόμαστε στην ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση

μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από κανονική ροή του ελεύθερου νερού και αποδίδεται ως κινητική ενέργεια μέσω της πτώσης του νερού. Μέσω υδροστρόβιλου η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Τα υδροηλεκτρικά έργα χωρίζονται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας με τις διαφορές τους πέρα από την ισχύ να εντοπίζονται στις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Τα υδροηλεκτρικά έργα μεγάλης κλίμακας προϋποθέτουν τη δημιουργία φραγμάτων τα οποία περιορίζουν την μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής.

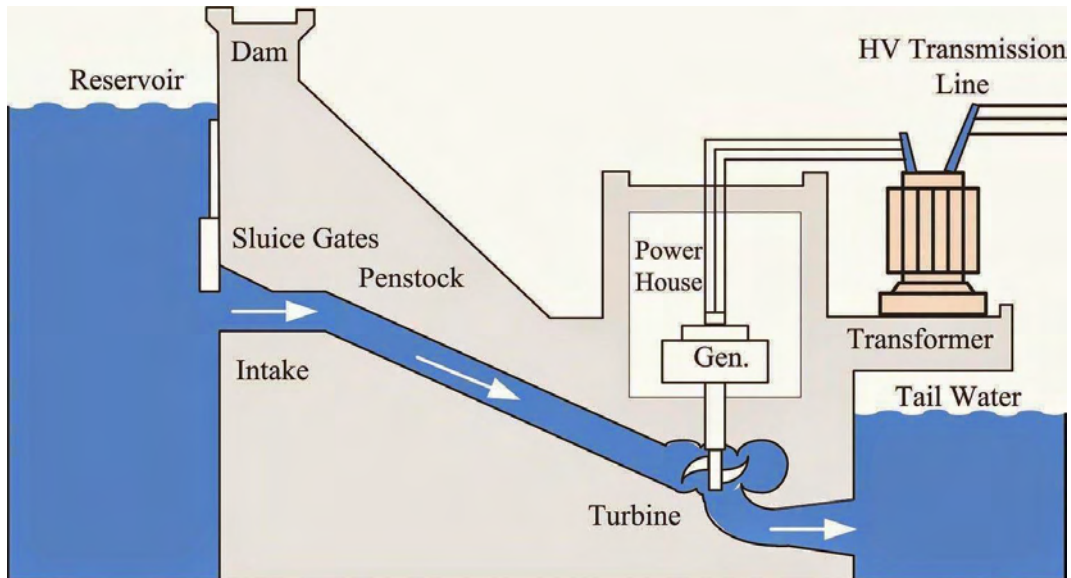
Από την άλλη πλευρά, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται πλησίον ποταμών, δεσμεύουν ένα ποσοστό από τη ροή του ποταμιού και στη συνέχεια το διοχετεύουν ξανά στον φυσικό ταμιευτήρα, λίγα μέτρα μετά το σημείο του υδροηλεκτρικού σταθμού με αποτέλεσμα η λειτουργία τους να μην επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον [20,21].

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες κατασκευής υδροηλεκτρικών σταθμών:

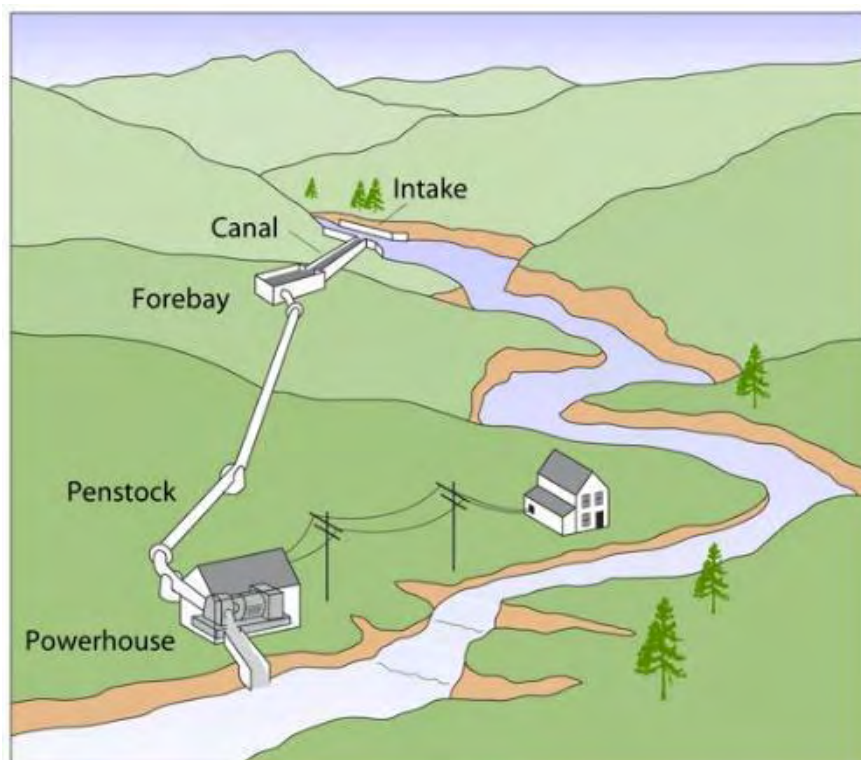
- **Υδροηλεκτρικός ταμιευτήρας**, με φράγμα επί του ποταμού. Αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο ΥΗΣ που χρησιμοποιεί το φράγμα για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε δεξαμενή. Το νερό απελευθερώνεται από την δεξαμενή και ρέει μέσα στον στρόβιλο, τον περιστρέφει και αυτός με τη σειρά του ενεργοποιεί την γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρισμού [22, Εικόνα 1.8].
- **Απαγωγή τμήματος της ροής του ποταμού**, μέσω έργου επιφανειακής υδροληψίας. Το νερό εκτρέπεται μέσω αγωγού και αποθηκεύεται

προσωρινά σε δεξαμενή φόρτισης ώστε να διαμορφωθεί τεχνητή υψομετρική διαφορά [22, Εικόνα 1.9].

- **Αντλησιοταμίευση**, που θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω.



Εικόνα 1.8: Διάγραμμα Υδροηλεκτρικού με ταμιευτήρα



Εικόνα 1.9: Διάγραμμα μικρού υδροηλεκτρικού με απαγωγή της ροής του ποταμού



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 2.1 Ανάγκη Ενεργειακής Αποθήκευσης

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας λοιπόν, αποτελούν τη σημαντικότερη απάντηση στην πορεία προς μια βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας. Παρόλα αυτά η ενέργεια που παράγεται από τα συστήματα ΑΠΕ, όπως τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια και οι ανεμογεννήτριες, δεν έχουν σταθερή παραγωγή ενέργειας καθώς αυτή κυμαίνεται σημαντικά σε ημερήσια, ωριαία και εποχιακή βάση εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας και των εντάσεων του ανέμου. Το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα σύνθετο σύστημα στο οποίο η παραγωγή (προσφορά) και η κατανάλωση (ζήτηση) ενέργειας πρέπει να είναι ίσες ανά πάσα στιγμή. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο να ισχύει και για τα ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα όπως αυτό της ηπειρωτικής χώρας αλλά και σε αυτόνομα δίκτυα, που συναντώνται κυρίως στα νησιά. Για αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητες οι συνεχείς προσαρμογές στην παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος έτσι ώστε να επιτευχθούν σωστές προβλέψεις αναφορικά με την ζήτηση των καταναλωτών. Οι μεταβλητές για την πρόβλεψη της απαιτούμενης ενέργειας είναι οι καθημερινές οικιακές δραστηριότητες που διαφοροποιούνται αρκετά καθώς και οι απρόσμενες αλλαγές από υπερφόρτωση του δικτύου αλλά και καταιγίδες. Η αποθήκευση ενέργειας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή την πράξη εξισορρόπησης και συμβάλλει στη δημιουργία ενός πιο ευέλικτου και αξιόπιστου συστήματος δικτύου.

Για παράδειγμα, όταν η παραγωγή (προσφορά) είναι περισσότερη από την κατανάλωση (ζήτηση) όπως τις πρωινές ώρες που υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια και οι απαιτήσεις για ρεύμα είναι πολύ μικρότερες από το βράδυ, η περισσευούμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν λειτουργούν ή όταν υπάρχει άπνοια και οι τα αιολικά δεν παράγουν ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την προσφορά. Από το σύνολο των ΑΠΕ που εισέρχονται στο δίκτυο, το μεγαλύτερο ποσοστό αξιοποίησης ανήκει στα Αιολικά Πάρκα παρόλο που η απόδοσή τους είναι δύσκολο να προβλεφθεί εξαιτίας της μεταβλητότητας του ανέμου ενώ τα μικρά υδροηλεκτρικά δεν έχουν την δυνατότητα να ρυθμίζουν την ποσότητα νερού που εκτρέπουν αλλά εξαρτώνται αποκλειστικά από την φυσική παροχή του ποταμού.

Όσο αυξάνεται λοιπόν το ποσοστό χρήσης των ΑΠΕ στο δίκτυο, ελαττώνεται η ευστάθεια του. Πολλές χώρες όπως Κίνα, Αμερική και Βραζιλία έχουν φτάνουν στο οριακό σημείο αναφορικά με την ευστάθεια/αστάθεια του δικτύου λόγω των ανανεώσιμων πηγών με αποτέλεσμα να οδηγούνται στην αποθήκευση μεγάλου ποσοστού της ενέργειας αυτής, τις ώρες που υπερκαλύπτονται οι ανάγκες του δικτύου με δυνατότητα ενίσχυσης του δικτύου τις περιόδους αιχμής.

Με την κατασκευή σταθμών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, δίνεται η δυνατότητα η περίσσεια ενέργεια που δεν καταναλώνεται, να αποθηκεύεται σε άλλη μορφή. Έτσι το δίκτυο, μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, οι οποίες σε περίπτωση που δεν υπήρχαν οι σταθμοί αποθήκευσης, δεν θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν.

Επιπλέον, τα συστήματα αποθήκευσης βοηθούν το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας να μειώσει τις λειτουργικές δαπάνες. Συμβάλουν δηλαδή στην παροχή επικουρικών υπηρεσιών ή εφεδρείας ενέργειας. Οι επικουρικές υπηρεσίες διακρίνονται σε:

1. Ρύθμιση της συχνότητας για αυτόνομες μονάδες
2. Στρεφόμενη εφεδρεία για προσωρινή υποστήριξη παραγωγής
3. Έλεγχο της τάσης του δικτύου
4. Επανεκκίνηση του συστήματος

Μεταξύ των οφελών της αποθήκευσης ενέργειας στη μεταφορά και διανομή είναι η ευστάθεια του συστήματος. [25]. Η αποθήκευση ενέργειας παρέχει επίσης τη δυνατότητα για κάλυψη του δικτύου σε περιπτώσεις διακοπών ρεύματος αλλά και για τη μείωση της παραγόμενης ενέργειας που καταναλώνεται στις ώρες αιχμής, που το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλό.

## **2.2 Μέθοδος Αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες**

Μια μπαταρία είναι μια χημική πηγή ρεύματος που μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια μετατρέποντάς την σε χημική και να την αποδώσει στο κύκλωμα όταν χρειάζεται. Αποτελείται από δύο ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους παράλληλα ή σε σειρά ανάλογα με την επιθυμητή παραγόμενη τάση. Τα ηλεκτρικά αυτά στοιχεία αποτελούνται από δύο μεταλλικές πλάκες που βρίσκονται σε δοχείο με υγρό. Αυτές οι αγωγίμες πλάκες ονομάζονται ηλεκτρόδια και το υγρό, ηλεκτρολύτης. .

Όταν το στοιχείο συνδέεται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα ή σε μια συσκευή που χρειάζεται φόρτιση, το αρνητικό ηλεκτρόδιο παρέχει ένα ρεύμα ηλεκτρονίων που ρέουν μέσα στο κύκλωμα και καταλήγουν στο θετικό ηλεκτρόδιο. Οι κύριες μπαταρίες μπορούν να μετατρέψουν τα χημικά τους στοιχεία σε ηλεκτρική ενέργεια και όταν η αντίδραση φτάσει σε ισορροπία, αχρηστεύονται με αποτέλεσμα να μην μπορούν να επαναλειτουργήσουν. Οι δευτερεύουσες μπαταρίες από την άλλη πλευρά, αρχικά φορτίζονται, μετατρέποντας τα συστατικά τους σε ουσίες που αντιδρούν μεταξύ τους και στη συνέχεια μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, εκφορτίζοντας δηλαδή την ενέργεια αυτή. Τέτοιες μπαταρίες ονομάζονται επαναφορτιζόμενες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές. Τέτοιου είδους μπαταρίες είναι οι εξής:

- Μπαταρίες λιθίου - ιόντων (Li-ion)
- Μπαταρίες νατρίου - θείου (NaS)
- Μπαταρίες μολύβδου – οξέος (Lead Acid)
- Μπαταρίες νικελίου – καδμίου (NiCd)

### 2.2.1 Μπαταρίες λιθίου – ιόντων (Li-ion)

Οι μπαταρίες λιθίου – ιόντων χρησιμοποιούνται κατά κόρων στην εποχή μας σε καθημερινές συσκευές όπως φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και καθώς έχουν μεγάλη αντοχή σε φορτίσεις και εκφορτίσεις. Τα ηλεκτρόδια τους κατασκευάζονται από ελαφρύ λίθιο και άνθρακα. Το λίθιο είναι ένα εξαιρετικά αντιδραστικό στοιχείο με αποτέλεσμα να μπορεί να αποθηκεύει πολλή ενέργεια στους ατομικούς του δεσμούς. Αυτό μεταφράζεται σε υψηλή πυκνότητα ενέργειας (300-400 KWh/m<sup>3</sup> λιθίου), βαθμούς απόδοσης που αγγίζουν το 98% και μεγάλο κύκλο ζωής για τις συγκεκριμένες μπαταρίες με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εφαρμογές που απαιτείται μικρή μάζα και όγκος καθώς και πολλές φορτίσεις - εκφορτίσεις. Έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης 150 Wh ανά κιλό μπαταρίας, έχοντας τεράστια διαφορά σε αυτόν τον τομέα από τις υπόλοιπες μπαταρίες. Σημαντικό είναι και το γεγονός, ότι χάνουν μικρό ποσοστό της φόρτισης τους ανά μήνα (μικρότερο του 5%), Τέλος, δεν απαιτείται να εκφορτιστούν πλήρως πριν επαναφορτιστούν σε αντίθεση με άλλες χημικές ουσίες μπαταριών.

Από την άλλη πλευρά όμως, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, η διάρκεια ζωής τους δεν υπερβαίνει τα τρία χρόνια. Λόγω των θερμοκρασιών αυτών, απαιτούνται κατάλληλα συστήματα προστασίας από εκρήξεις,

καθώς εξαιτίας των χημικών τους συστάσεων μπορούν να πάρουν φωτιά. Κάτι τέτοιο ανεβάζει αρκετά το κόστος τους.

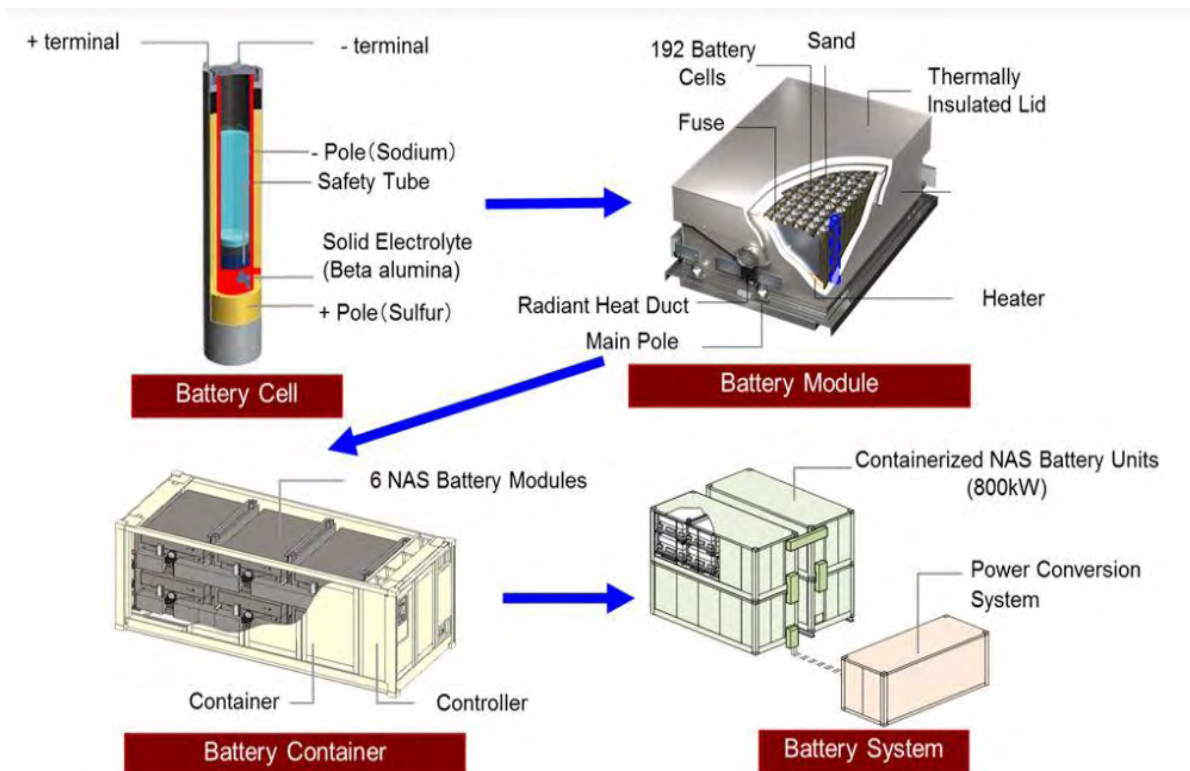
Τα τελευταία χρόνια, ο ρυθμός μείωσης του κόστους των μπαταριών λιθίου – ιόντων είναι ραγδαίος λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας στο συγκεκριμένο τομέα με αποτέλεσμα σε μικρό χρονικό διάστημα από τώρα να είναι ικανές και συμφέρουσες για χρησιμοποίηση σε συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ακόμα και σε μεγάλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης [32].

### 2.2.2 Μπαταρίες νατρίου – θείου (NaS)

Οι μπαταρίες νατρίου – θείου (NaS) αποτελούνται από υγρά ηλεκτρόδια (θείο στο θετικό ηλεκτρόδιο και νάτριο στο αρνητικό) και ανάμεσά τους στερεό ηλεκτρολύτη από κεραμικό υλικό. Για να λειτουργήσει η κυψέλη της μπαταρίας πρέπει τα ηλεκτρόδια να είναι σε υγρή μορφή και ο ηλεκτρολύτης στερεός. Παρά το γεγονός ότι το κόστος τους είναι σχετικά χαμηλό, τέτοιου είδους μπαταρίες επιτυγχάνουν διάρκεια ζωής έως και 5000 εκφορτίσεις, παρέχοντας παράλληλη μεγάλη απόδοση και διάρκεια στην εκφόρτισή τους. Λειτουργούν όμως σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες που φτάνουν τους 350°C, άρα λαμβάνουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας, ωστόσο επιτυγχάνουν αποδόσεις περίπου 80%. Δυστυχώς όμως, τα υλικά που χρησιμοποιούν είναι τοξικά με αποτέλεσμα μετά τη χρήση τους, να είναι δύσκολη η ανακύκλωσή τους.

Τα συστήματα μπαταριών NaS είναι σχεδιασμένα ώστε να μπορούν να μεταβάλλουν την χωρητικότητα της εγκατάστασης τους. Μπορούν να φτάσουν την ισχύ μερικών δεκάδων MW με δυνατότητα εκφόρτισης και παροχή της αποθηκευμένης ενέργειας το δίκτυο για 6 έως 7 ώρες σε καταστάσεις υβριδικών συστημάτων. Το μεγαλύτερο τέτοιο σύστημα είναι της τάξης των 50 MW. Ο σχεδιασμός τους σε μορφή “Plug and Play”, με εγκατεστημένες μπαταρίες νατρίου – θείου σε εμπορευματοκιβώτια καθιστά εύκολη και γρήγορη την μεταφορά τους και την εγκατάστασή τους με ελάχιστο κόστος [33].

Στην Εικόνα 2.1 παρατηρούμε την κλιμάκωση των μπαταριών νατρίου – θείου από μια κυψέλη, σε μια μπαταρία 192 κυψελών, σε ένα σύστημα “Plug and Play” εντός κοντέινερ και τέλος σε σύστημα συνδεδεμένο με μετατροπή της ισχύος.



Εικόνα 2.1: Κλιμάκωση μπαταριών νατρίου – θείου

### 2.2.3 Μπαταρίες μολύβδου – οξέος (Lead Acid)

Οι μπαταρίες μολύβδου είναι από τις πιο διαδομένες τεχνολογίες αποθήκευσης ρεύματος. Σε μια μπαταρία μολύβδου, τα ηλεκτρόδια και τα καλώδια είναι φτιαγμένα από μόλυβδο ενώ ανάμεσά τους υπάρχει ασβέστιο με σκοπό την καλύτερη απόδοση των μπαταριών. Έχουν χαμηλό κόστος της τάξης των 100-300 €/kWh και για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται σε αρκετά υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η απόδοση τους αγγίζει το 85% ενώ ο ρυθμός αστοχία τους περιορίζεται στο 0.25%. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν αρκετά χαμηλές πυκνότητες ενέργειας, καθιστώντας τις ακατάλληλες για φορητές συσκευές. Έχοντας όμως άμεσους χρόνους εκκίνησης έχουν γίνει οι πιο συνηθισμένες μπαταρίες για χρήση σε αυτοκίνητα καθώς σε ελάχιστο χρόνο, αναπτύσσουν ρεύματα έως και 600 A.

Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 1000 κύκλοι αλλά κομβικό παράγοντα στην εκφόρτισή τους παίζει η θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται. Όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή της θερμοκρασίας τόσο μειώνεται και η τιμή της ονομαστικής ικανότητάς τους με

αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η προστασία τους από χαμηλές θερμοκρασίες. Αποτελούν μια οικονομική και αξιόπιστη λύση αλλά προς το παρόν η τεχνολογία τους δεν τους επιτρέπει την εφαρμογή τους σε μεγάλα συστήματα παραγωγής ενέργειας, παρά μόνο σε για μικρές εφαρμογές όπως οικιστική χρήση.

#### 2.2.4 Μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni – Cd)

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου παρουσιάζουν σταθερότητα και αξιοπιστία στις φορτίσεις και εκφορτίσεις γεγονός που τις διατηρεί ψηλά στις προτιμήσεις, παρά το γεγονός πως έχουν μέτρια πυκνότητα ενέργειας. Η διάρκεια ζωής τους αγγίζει τους 2500 κύκλους, έχοντας όμως μικρότερη απόδοση (65%-75%) και είναι συγκριτικά πιο ακριβές από τις υπόλοιπες (800€/kWh). Είναι όμως οι μοναδικές μπαταρίες οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, αποδίδοντας ικανοποιητικά ακόμα και σε συνθήκες δεκάδων βαθμών υπό το μηδέν. Το βασικό αρνητικό χαρακτηριστικό τους όμως είναι το φαινόμενο μνήμης (memory effect). Εξαιτίας αυτού, οι συγκεκριμένες μπαταρίες μπορούν να εκφορτιστούν μέχρι ένα συγκεκριμένο ποσοστό της χωρητικότητάς τους, μειώνοντας ουσιαστικά την συνολική ενέργεια που μπορούν να διαθέσουν.

Η εφαρμογή τους εντοπίζεται κυρίως σε συστήματα UPS, φωτισμό έκτακτης ανάγκης και για την εκκίνηση κινητήρων. Η εφαρμογή τους σε εμπορική χρήση έχει απαγορευτεί καθώς το κάδμιο που περιέχουν είναι ιδιαίτερα τοξικό. Σε επίπεδο υβριδικών συστημάτων, χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας ενός αιολικού πάρκου ισχύος 3 MW στο νησί Bonaire της Καραϊβικής. Επιπλέον, τον Αύγουστο του 2010, το μεγαλύτερο σύστημα μπαταριών νικελίου – καδμίου ισχύς 40 MW εγκαινιάστηκε στο Fairbanks της Αλάσκας [Εικόνα 2.2] με σκοπό την σταθεροποίηση του τοπικού δικτύου και την μείωση κατά 65% των συνηθισμένων για την περιοχή φαινομένων διακοπής ρεύματος [34]. Οι συγκεκριμένες μπαταρίες μπορούν να παράγουν ισχύ έως και 27 MW για 15 λεπτά με διάρκεια ζωής, σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία Saft, 20 – 25 χρόνια.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του παραπάνω έργου είναι:

- Ο μικρός όγκος της εγκατάστασης συγκριτικά με την ισχύ του έργου.
- Η εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση καθώς το 90% των συνδέσεων έχουν γίνει από το εργοστάσιο.

- Η γρήγορη αλλαγή οποιασδήποτε κυψέλης που μπορεί να υπολειτουργεί, σε λιγότερο από 30 λεπτά.
- Ελάχιστες απώλειες ισχύος, εξαιτίας των συνδέσεων μεταξύ των κυψελών από χάλκινες ράβδους και ελαχιστοποιούν τις απώλειες από τις καλωδιώσεις.



Εικόνα 2.2: Εσωτερικό του εργοστασίου στην Αλάσκα με μπαταρίες Ni-Cd

## 2.3 Υπόλοιπες Μέθοδοι Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η βιομηχανία της αποθήκευσης ενέργειας συνεχώς εξελίσσεται, έτσι ώστε να προσαρμόζεται και να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες ενεργειακές απαιτήσεις και την πρόοδο της τεχνολογίας. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας παρέχουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογικών προσεγγίσεων για τη διαχείριση της ενεργειακής κάλυψης με σκοπό την δημιουργία ενός ευσταθές δικτύου καθώς και τη μείωση του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με διάφορες μορφές όπως:

1. Πεπιεσμένου αέρα (αποθήκευση ενέργειας συμπιεσμένου αέρα)
2. Μορφή υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου)
3. Χημική μορφή (συσσωρευτές - μπαταρίες)

4. Μηχανική μορφή (σφόνδυλοι)
5. Ηλεκτροστατικού πεδίου (υπερπυκνωτές)
6. Υδραυλική μορφή (αντλησιοταμίευση)

Οι παραπάνω μέθοδοι αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και κόστη. Για αυτό τον λόγο, η χρησιμοποίησή τους γίνεται ανάλογα με τις ανάγκες που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση [26]. Είναι δύσκολο να γίνει σχετική σύγκριση ανάμεσά τους, αλλά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αναφορικά με τον όγκο αποθήκευσης αλλά και με την εκάστοτε εφαρμογή τους:

- **Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας.** Χρησιμοποιούνται σε συστήματα που η παραγωγή λαμβάνει χώρα κοντά στην περιοχή της ζήτησης και έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στα αιτήματα για μικρά χρονικά διαστήματα.
- **Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας.** Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εγκαταστάσεις και έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια για μεγάλες χρονικές περιόδους.

### 2.3.1 Αποθήκευση Πεπιεσμένου Αέρα (Compressed air energy storage – CAES)

Η αποθήκευση ενέργειας με τη μέθοδο αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα, αφορά εφαρμογές με μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Η ισχύς ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται από τα 50MW έως και πάνω από 300MW. Η περίσσεια ενέργεια χρησιμοποιείται για την συμπίεση και αποθήκευση του ατμοσφαιρικού αέρα σε μεγάλες πιέσεις (40 έως και 80 bar) μέσα σε υπόγειους αεροστεγείς ταμιευτήρες με τη βοήθεια συστήματος συμπιεστών. Τέτοιοι ταμιευτήρες είναι πετρώδη υπόγεια σπήλαια, εγκαταλειμμένα ορυχεία, εξαντλημένα κοιτάσματα αερίων και αλατούχου υδροφόροι ορίζοντες, οι οποίοι και χρησιμοποιούνται τις περισσότερες φορές μια και είναι η πιο οικονομική λύση για τέτοια συστήματα. Τα σπήλαια αυτά μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς προβλήματα για την αποθήκευση ενέργειας για τουλάχιστον 100 χρόνια.

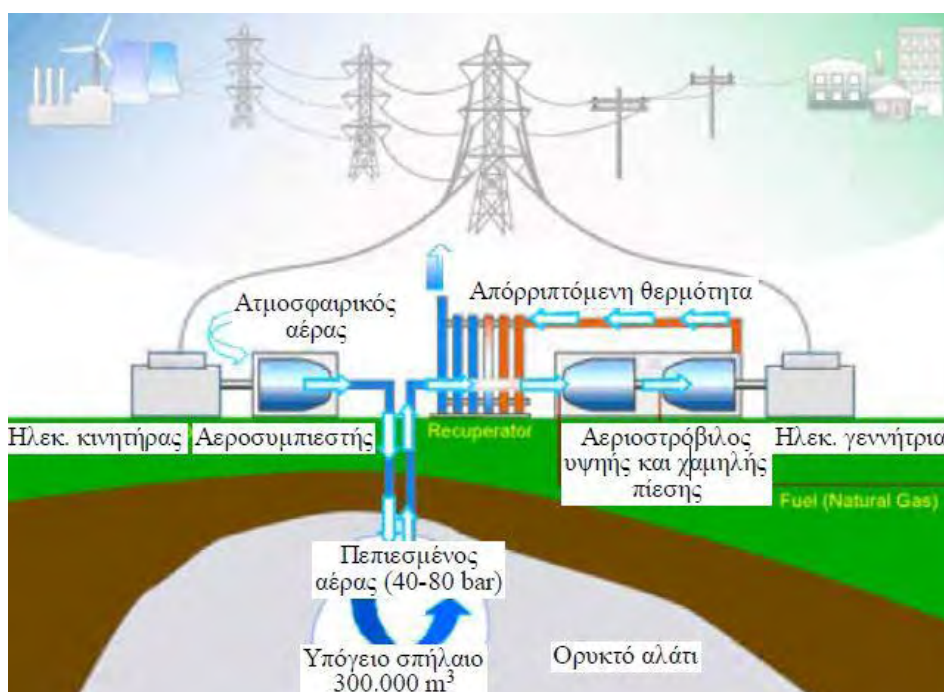
Όταν το δίκτυο χρειάζεται ενίσχυση, ο συμπιεσμένος αέρας αποδεσμεύεται από τον αεροστεγή ταμιευτήρα, θερμαίνεται διερχόμενος από θάλαμο καύσης με φυσικό αέριο από δύο αεριοστρόβιλους υψηλής και χαμηλής πίεσης και στη συνέχεια διεγείρει ηλεκτρογεννήτρια μέσω εκτόνωσης σε στρόβιλο, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια.



Παρά τους μεγάλους χώρους που απαιτούνται για την αποθήκευση, τα CAES καταφέρνουν να έχουν λίγες απώλειες κατά την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα με αποτέλεσμα η αποθηκευμένη ενέργεια να έχει τη δυνατότητα να παραμένει στο σύστημα για περισσότερο από έναν χρόνο. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα να υποστηρίξουν το δίκτυο άμεσα, καθώς έχουν γρήγορη εκκίνηση του συστήματος με αποτέλεσμα μέσα σε περίπου 10 λεπτά να ξεκινάει η παροχή της ενέργειας.

Από την άλλη πλευρά όμως, παρόλο που οι απώλειες στην αποθήκευση είναι ελάχιστες, τα συστήματα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα παρατηρούν απώλειες τόσο κατά την αποθήκευση στον ταμιευτήρα όσο και κατά την άντληση του συμπιεσμένου αέρα από αυτόν καθώς και λόγω των βαθμών απόδοσης του συστήματος που είναι της τάξης του 70%. Τέλος, είναι μια δύσκολη εγκατάσταση καθώς απαιτείται ευνοϊκή εδαφική μορφολογία για την εύρεση τέτοιων υπόγειων ταμιευτήρων και επιπλέον η κατάλληλη κατασκευή / τροποποίησή τους είναι εξαιρετικά ακριβή.

Ο αεροσυμπιεστής με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα συμπιέζει τον ατμοσφαιρικό αέρα σε πιέσεις έως 80 bar, μέσα σε ένα υπόγειο σπήλαιο από ορυκτό αλάτι χωρητικότητας 300.000m<sup>3</sup> για να τον αποθηκεύσει [Εικόνα 2.3]. Σε περίπτωση ανάγκης για περισσότερη ενέργεια, ο πεπιεσμένος αέρας αποδεσμεύεται από τον υπόγειο ταμιευτήρα, εισέρχεται στους αεριοστρόβιλους και άμεσα ξεκινάει η λειτουργία την γεννήτριας που παρέχει το ρεύμα στο δίκτυο [26,27].



Εικόνα 2.3 : Διαδικασία αποθήκευσης ενέργειας με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα [27]

Ανάλογα με την μέθοδο συμπίεσης του αέρα, τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας που εκλύεται και το ποσοστό αυτής αλλά και τον τρόπο αναθέρμανσης του αέρα στο στάδιο της παραγωγής ενέργειας, τα συστήματα CAES χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες. Τους διαβατικούς σταθμούς, τους αδιαβατικούς, τους προηγμένους αδιαβατικούς αλλά και τους ισοθερμικούς σταθμούς CAES.

Μόνο τρία ολοκληρωμένα έργα αποθήκευσης ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα συναντάμε ανά τον κόσμο. Το 1978, στο Χάντορφ της Γερμανίας ολοκληρώθηκε το πρώτο χρησιμοποιώντας ταμιευτήρα αλατιού με ισχύ 290 MW. Το 1991, στην Αλαμπάμα των ΗΠΑ κατασκευάστηκε εργοστάσιο 110 MW με δυνατότητα αποθήκευσης σε σπήλαιο άλατος σε 1100 psi. Διαθέτει βαθμός απόδοσης 82% και απαιτεί καύση φυσικού αερίου περίπου στο 1/3 του ρυθμού του αεριοστρόβιλου που παράγει την ίδια ποσότητα ενέργειας. Τα δύο παραπάνω έργα είναι διαβατικού τύπου, σε αντίθεση με το τρίτο και τελευταίο μέχρι στιγμής έργο CAES ισχύς 2 MW, που εγκαταστάθηκε στο Τέξας των ΗΠΑ τον Δεκέμβριο του 2012 και είναι ισοθερμικού τύπου χωρίς την ανάγκη καυσίμου για την λειτουργία του [28].

### 2.3.2 Συστήματα Αποθήκευσης με σφονδύλους (flywheels)

Η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας με σφονδύλους, λειτουργεί με την επιτάχυνση μιας κυλινδρικής διάταξης, η οποία ονομάζεται σφόνδυλος, σε πολύ υψηλές ταχύτητες. Διατηρεί την ενέργεια στο σύστημα εξαιτίας της περιστροφικής ταχύτητας που αναπτύσσεται. Αποθηκεύουν δηλαδή την ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή της κινητικής ενέργειας. Μόλις η ηλεκτρική ενέργεια εισέρθει στον σφόνδυλο, ο δρομέας αναπτύσσει ταχύτητα και ο κινητήρας που είναι ενσωματωμένος αυξάνει την περιστροφική του ταχύτητα. Ο σφόνδυλος λειτουργεί λοιπόν σαν μια μπαταρία που μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια ανάλογα με την περιστροφική ταχύτητα και τη ροπή αδράνειας του σφονδύλου. Όσο μεγαλύτερη η ταχύτητά του, τόσο περισσότερη ενέργεια μπορεί να αποθηκεύσει.

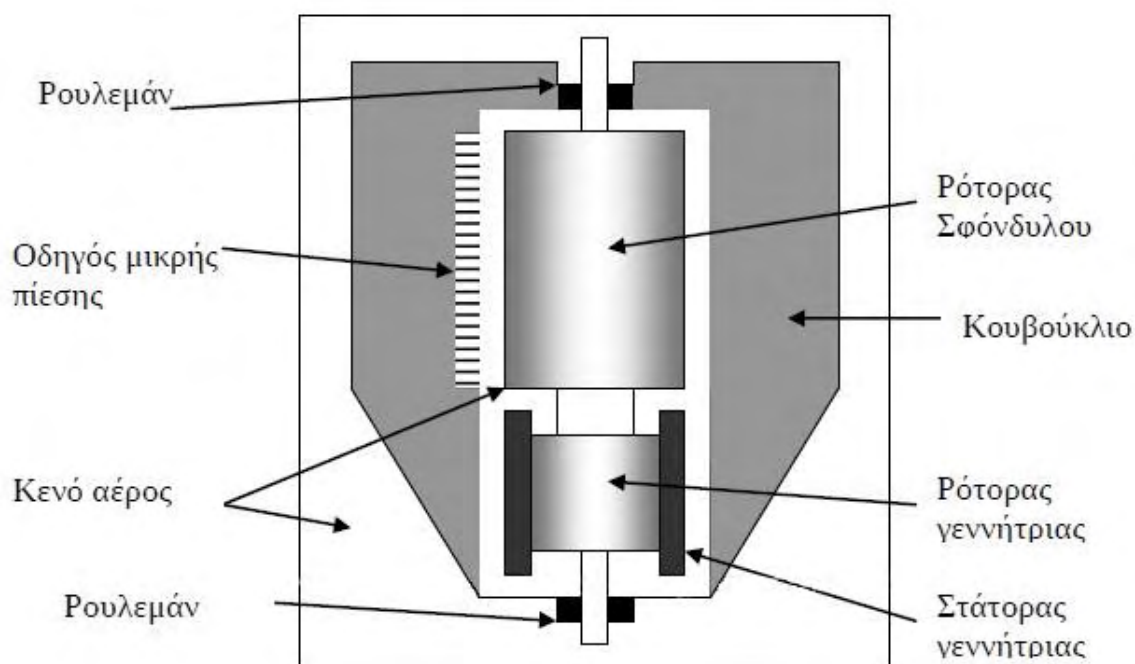
Μέσω της επιβράδυνσης της στρεπτικής ροπής, η ενέργεια που έχει αποθηκευτεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες, επιστρέφοντας την κινητική ενέργεια στην ηλεκτρική συσκευή η οποία με τη σειρά της λειτουργεί σαν γεννήτρια παράγοντας ηλεκτρική ισχύ από την ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη στον σφόνδυλο. Ο δρομέας και ο κινητήρα – γεννήτρια [Εικόνα 2.4] λειτουργούν μέσα σε

περίβλημα κενού, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τριβές κατά τη διάρκεια της περιστροφής και να μην χάνεται ενέργεια [26].

Αυτό το σύστημα αποθήκευσης είναι ιδανικό για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Η ενέργεια μπορεί να παραμείνει αποθηκευμένη για αρκετό διάστημα και να επιστραφεί σε μόλις λίγα δευτερόλεπτα. Σημαντικά πλεονεκτήματα των σφονδύλων ως μέθοδο αποθήκευσης ηλεκτρισμού αποτελούν η υψηλή απόδοση (που φτάνει έως 80%), ο μεγάλος χρόνος ζωής (έως και 175.000 κύκλοι φόρτισης- εκφόρτισης) και το γεγονός ότι παραμένουν ανεπηρέαστοι σε αλλαγές θερμοκρασιών.

Αντίθετα ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι οι χαμηλές αποδόσεις για μακροχρόνια αποθήκευση. Σε συνάρτηση με τον χρόνο, οι απώλειες ενέργειας είναι μεγάλες για αυτό και τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για σχετικά βραχυπρόθεσμα αποθήκευση.

Τέλος η χρήση των σφονδύλων ως μέσο αποθήκευσης δεν είναι τόσο διαδεδομένη σε επίπεδο ηλεκτρικού δικτύου ή συστήματος μεταφοράς όσο στην αυτοκίνηση. Πολλοί κατασκευαστές υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων χρησιμοποιούν τα flywheels σαν μέσο αποθήκευσης, εκμεταλλευόμενοι τη γρήγορη απόκρισή τους και τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε λιγότερη μάζα και όγκο που προσφέρουν [26,29,30].



Εικόνα 2.4: Τομή ενός συστήματος σφονδύλου [30]

### 2.3.3 Κυψέλες καυσίμου (fuel cells)

Οι κυψέλες καυσίμου ανήκουν στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με τη μορφή του υδρογόνου. Μέσω της ηλεκτρόλυσης του υδρογόνου από το οξυγόνο, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να μετατρέψουν την αποθηκευμένη σε αυτές ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια και σε θερμότητα. Αποτελεί μια πολύ υποσχόμενη τεχνολογία και πιστεύεται ότι μπορεί στο μέλλον, με την κατάλληλη εξέλιξή της να αντικαταστήσει πλήρως την παρουσία των ορυκτών καυσίμων κυρίως στο τομέα της αυτοκίνησης καθώς οι μπαταρίες παρουσιάζουν μειονεκτήματα που αφορούν το βάρος τους αλλά και την αυτονομία τους. Παρόλο που η λειτουργία τους παραπέμπει σε αυτή των μπαταριών, έχουν την δυνατότητα άπειρων κύκλων λειτουργίας καθώς δεν σταματάει η λειτουργία τους όσο τροφοδοτούνται με οξυγόνο και υδρογόνο.

Η κάθε κυψέλη αποτελείται από δύο πλάκες (ηλεκτρόδια) που χωρίζονται από μια μεμβράνη 3-7 επιπέδων, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Το υδρογόνο τροφοδοτεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο και καθώς έρχεται σε επαφή με τον καταλύτη, διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και σε ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς θετικό ηλεκτρόδιο με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο για την παραγωγή νερού.

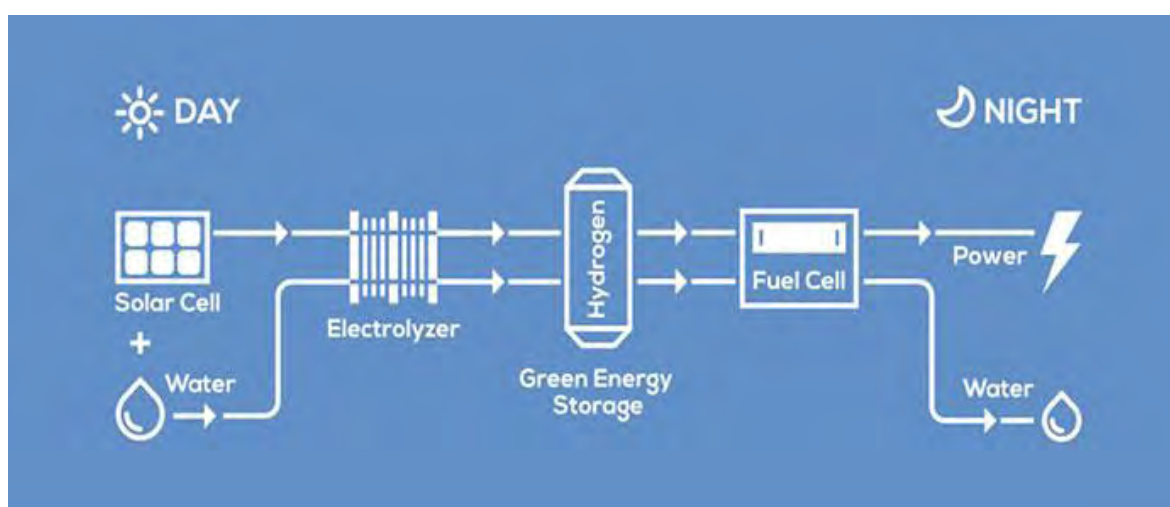
Από την παραπάνω διαδικασία, εκλύεται θερμότητα και νερό. Η ενεργειακή απόδοση των κυψελών καυσίμου μπορεί να φτάσει στο 60% ενώ τα συστήματα ορυκτών καυσίμων έχουν απόδοση περίπου 34%. Υπάρχουν 3 κατηγορίες κυψελών καυσίμου. Η πιο διαδεδομένη είναι με **πολυμερισμένη μεμβράνη (proton exchange membrane, PEM)** στην οποία οι κυψέλες λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ από 50 kW έως και 250 kW. Τέτοιες κυψέλες κυρίως χρησιμοποιούνται για τροφοδότηση αυτοκινήτων. Οι **κυψέλες φωσφορικού οξέος (phosphoric -acid fuel cells, PAFC)** παράγουν χαμηλό ρεύμα παρά το γεγονός ότι έχουν μεγάλο μέγεθος και βάρος καθώς και ότι ο λευκόχρυσος που χρησιμοποιείται σαν καταλύτης είναι ακριβός. Τέλος, οι **κυψέλες με καύσιμο την μεθανόλη (direct methanol fuel cells, DMFC)** είναι η τελευταία τεχνολογικά κατηγορία και έχει ακόμα ζητήματα προς επίλυση όπως την μεγάλη ποσότητα καταλύτη που χρειάζεται για την παραγωγή ενέργειας.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, λαμβάνοντας την περίσσεια ενέργεια από συστήματα ΑΠΕ αποθηκεύοντας την σε χημική μορφή και όταν το δίκτυο είναι ασθενές να μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Σε τέτοιες εφαρμογές, το μέγεθος της εγκατάστασης και οι χρόνοι εκκίνησης δεν αποτελούν αποτρεπτικό παράγοντα (σε σχέση με την χρήση τους σε αυτοκίνητα) [31].

Σε ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να:

1. Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές
2. Βοηθούν το δίκτυο ως σταθμός βάσης ή να καλύπτουν τις αιχμές ζήτησης
3. Λειτουργούν σαν υβριδικά συστήματα μαζί με άλλες ΑΠΕ, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια όταν οι υπόλοιπες πηγές δεν καλύπτουν τη ζήτηση
4. Λειτουργούν σαν εφεδρείες σε περιπτώσεις βλάβης

Στην Εικόνα 2.5 φαίνεται η διαδικασία αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου κατά την διάρκεια της ημέρας που τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά πάνελ και κατά την διάρκεια της νύχτας, η αποδέσμευση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο.



Εικόνα 2.5: Υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών πάνελ με κυψέλες καυσίμου

#### 2.3.4 Υπερπυκνωτές (supercapacitors)

Ο υπερπυκνωτής είναι ένας ηλεκτροχημικός πυκνωτής και αποτελεί την μοναδική ηλεκτρική μέθοδο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Διαφέρει από τους κανονικούς πυκνωτές στην ικανότητά του να αποθηκεύει μεγαλύτερα φορτία και στο γεγονός ότι εκφορτίζεται πολύ πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ισχύ. Στο εσωτερικό του χρησιμοποιείται ένα μοριακά λεπτό στρώμα ηλεκτρολύτη ως διηλεκτρικό για τον

διαχωρισμό της φόρτισης. Αποτελείται από δύο αντίθετα φορτισμένα ηλεκτρόδια, έναν διαχωριστή, τον καταλύτη και συλλέκτες ρεύματος. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των υπερπυκνωτών, όπως η ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, το μέγιστο ρεύμα που αντέχει καθώς και η θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί, εξαρτώνται από το είδος του ηλεκτρολύτη.

Σε σχέση με τις μπαταρίες, οι υπερπυκνωτές έχουν αρκετά μικρότερη πυκνότητα ενέργειας αλλά η πυκνότητα της ισχύος εκφόρτισής τους είναι πολύ μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να μπορούν να φορτιστούν και εκφορτιστούν σε μικρά χρονικά διαστήματα. Κάτι τέτοιο δεν επηρεάζει την αντοχή τους καθώς αντέχουν εκατοντάδες χιλιάδες κύκλους φόρτισης. Στα αρνητικά τους, το υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης που αγγίζει το 14% της ονομαστικής ενέργειας για κάθε μήνα.

Τέτοιου είδους υπερπυκνωτές χρησιμοποιούνται κυρίως σε συνδυασμό με μπαταρίες με σκοπό να καλύπτουν άμεσα τις γρήγορες μεταβολές στη ζήτηση ισχύος. Οι υπερπυκνωτές καλύπτουν τις στιγμιαίες μεταβολές και στη συνέχεια οι μπαταρίες μέσω εκφόρτισης παρέχουν την απαραίτητη ισχύ για την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Τέτοιες εφαρμογές εντοπίζονται κυρίως σε φωτοβολταϊκά πάρκα που εξαιτίας της διαφοροποίησης της ηλιοφάνειας ανά ώρα, παρατηρούνται έντονες αυξομειώσεις της τάσης [29].

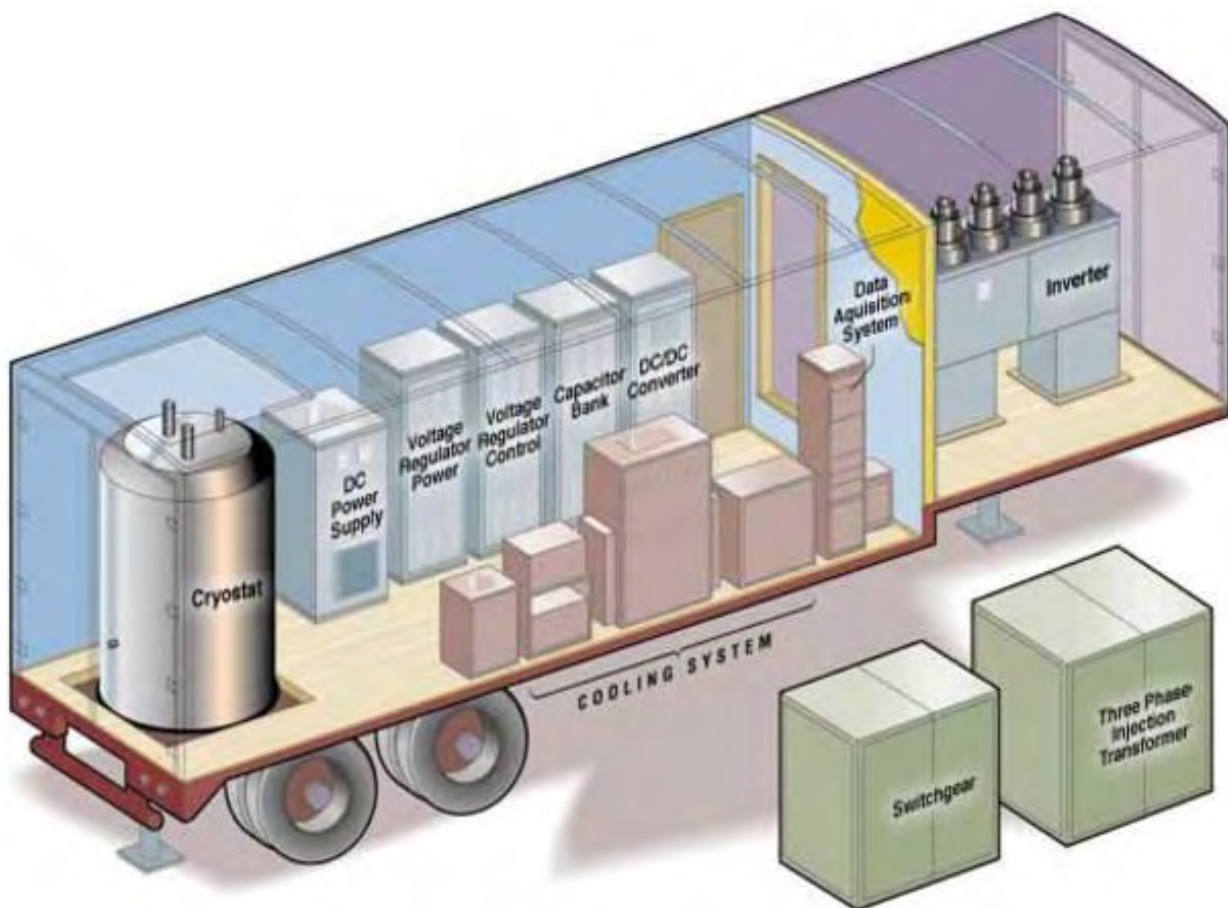
### 2.3.5 Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευσης Ενέργειας (SMES)

Η Υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση (Superconducting Magnetic Energy Storage) αποθηκεύει ενέργεια σε υπεραγώγιμο πηνίο με τη μορφή μαγνητικού πεδίου. Το πηνίο ψύχεται σε χαμηλές θερμοκρασίες ώστε να διατηρείται η υπεραγωγιμότητα του για να μην υπάρχει αντίσταση στο εσωτερικό του. Όταν εκφορτίζεται το πηνίο, τα συστήματα αυτά μετατρέπουν την μαγνητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Έχει τη δυνατότητα να περιορίζει τις διακυμάνσεις της τάσης του δικτύου και να το ενισχύει όταν είναι απαραίτητο.

Τα συστήματα υπεραγώγιμης μαγνητικής αποθήκευσης ενέργειας παρουσιάζουν πολύ υψηλές αποδόσεις αποθήκευσης (έως και 97%) και απόκριση μέσα σε λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου σε αντίθεση με άλλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ωστόσο διαρκούν μόνο για μικρούς χρόνους. Λόγω των χαρακτηριστικών έχουν διάρκεια ζωής πολλών χιλιάδων κύκλων και βρίσκουν εφαρμογή για την σταθεροποίηση του δικτύου σε μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές εγκαταστάσεις και για προστασία ευαίσθητων

ηλεκτρικών συσκευών. Η δυσκολία στην κατασκευή τους καθώς και ο το κόστος για τον εξοπλισμό που απαιτείται για την διατήρηση της εσωτερικής υπεραγωγιμότητας καθώς και τα περιβαλλοντικά ζητήματα που αντιμετωπίζουν εξαιτίας του πολύ υψηλού μαγνητικού πεδίου, δεν έχουν επιτρέψει στα SMES την έντονη χρησιμοποίησή τους με μόλις 100 MW περίπου να είναι σε λειτουργία. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση εδρεύει στο Wisconsin και αποτελείται από 6 μονάδες των 3 MW που ενισχύουν την ποιότητα ισχύος του δικτύου και το υποστηρίζουν με άεργη ισχύ [30,35].

Στην Εικόνα 2.6 παρατηρούμε μια διάταξη υπεραγωγίσιμης τεχνολογίας για μονάδα ισχύος 3 MW και χρόνο απόκρισης για ενίσχυση του δικτύου μικρότερο του μισού δευτερολέπτου.



Εικόνα 2.6: Σύστημα Υπεραγωγίσιμης Αποθήκευσης Ενέργειας



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ

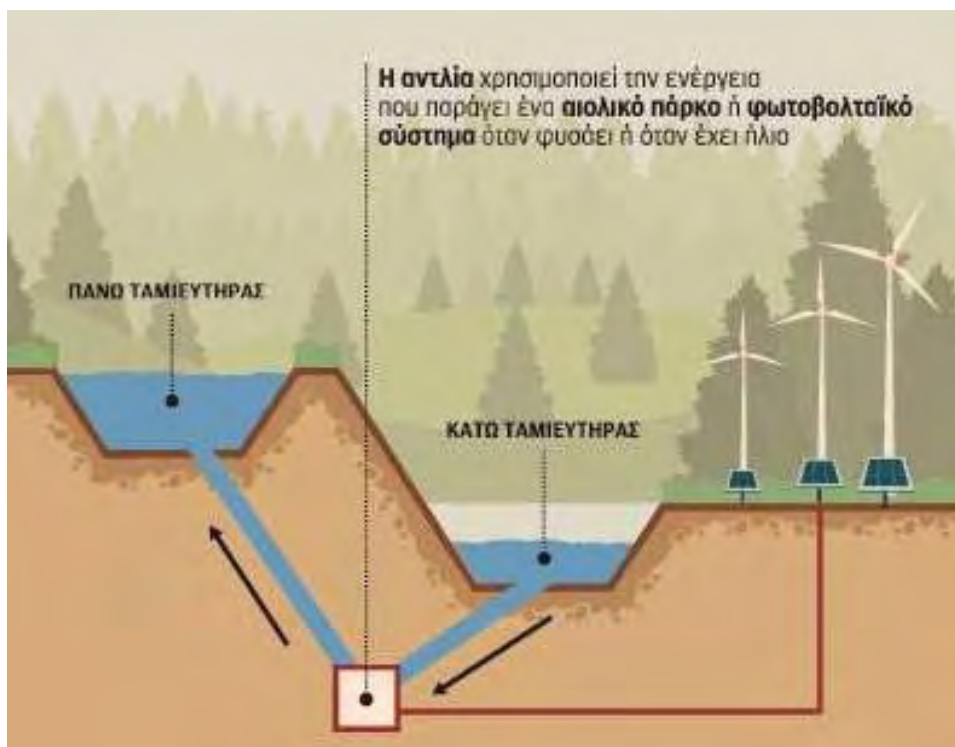
### 3.1 Γενικά στοιχεία

Η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας με αντλησιοταμίευση είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για τον σκοπό αυτό και αποτελούν την πιο ώριμη και εμπορικά συμφέρουσα λύση καθώς πάνω από το 97% την συνολικής ενέργειας που αποθηκεύεται, προέρχεται από έργα αντλησιοταμίευσης. Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμεύει στην σταθεροποίηση του δικτύου, την εξισορρόπηση του φορτίου, την ρύθμιση της συχνότητας και τη δημιουργία αποθεματικού ενέργειας. Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης είναι εξοπλισμένα με αντλίες και γεννήτριες που συνδέουν μια άνω και μια κάτω δεξαμενή νερού. Τέτοιες δεξαμενές μπορεί να είναι φυσικοί ταμιευτήρες όπως μια λίμνη είναι ποτάμι μεγάλου βάθους ή τεχνητοί όπως μια τεχνητή λίμνη που έχει δημιουργηθεί από υδροηλεκτρικό φράγμα.

Οι αντλίες χρησιμοποιούν το σχετικά φθινό ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της ημέρας που οι απαιτήσεις του δικτύου είναι χαμηλές για να μεταφέρουν και να αποθηκεύσουν το νερό από την χαμηλότερη δεξαμενή στην υψηλότερη. Σε περιόδους υψηλής ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια (ώρες αιχμής κατά τη διάρκεια της νύχτας) που το ρεύμα είναι πιο ακριβό, το νερό απελευθερώνεται από τον άνω ταμιευτήρα προς τον υδροστρόβιλο που βρίσκεται στον κάτω ταμιευτήρα, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας σε υψηλότερη τιμή [29, 30].

Με την έντονη αύξηση του ποσοστού ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως, η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πιο αξιόπιστη λύση για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας (δυνατότητα παραγωγής ενέργειας όταν απαιτείται έως και 500 MW). Έτσι τα περισσότερα συστήματα αντλησιοταμίευσης περιλαμβάνουν διασύνδεση για τροφοδότηση των αντλιών τους με αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1. Τέτοια συστήματα ονομάζονται υβριδικά και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν εγγυημένα ισχύ οποιαδήποτε στιγμή ζητηθεί από το δίκτυο. Επιπλέον τα υβριδικά συστήματα μπορούν να καταστήσουν αξιόπιστα τα δίκτυα των μη διασυνδεδεμένων νησιών, εκμεταλλεύοντας ως επί το πλείστον την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ υποστηριζόμενη από έργα αντλησιοταμίευσης [30, 36].





Εικόνα 3.1: Υβριδικό σύστημα με ΑΠΕ και αντλησιοταμίευση

Η απόδοση των συστημάτων αντλησιοταμίευσης διαφέρει αρκετά εξ αιτίας των ραγδαίων εξελίξεων της τεχνολογίας καθώς τα πρώτα τέτοια έργα τέθηκαν σε λειτουργία το 1890 στις Άλπεις. Τα παλαιότερα συστήματα έχουν απόδοση μικρότερη του 60% ενώ τα καινούρια ξεπερνάνε το 80%. Τα πρώτα έργα χρησιμοποιούσαν ξεχωριστές αντλίες ενώ από μισά του 20<sup>ου</sup> αιώνα και μετά η έλευση αναστρέψιμης γεννήτριας, άλλαξε τα δεδομένα στην αντλησιοταμίευση. Τα περισσότερα έργα ήταν εγκατεστημένα στην Ευρώπη με τις ΗΠΑ να ολοκληρώνουν το πρώτο δικό τους το 1928, την Ιαπωνία το 1934 και την Κίνα αρκετά αργότερα, το 1968. Η συνολική χωρητικότητα του παγκοσμίως είναι 184 GW σε 41 χώρες. Παρακάτω, στην Εικόνα 3.2 φαίνεται η συνολική χωρητικότητα συστημάτων αντλησιοταμίευσης ανά χώρα με τις Ιαπωνία, Κίνα και ΗΠΑ να κατέχουν περίπου το 50% της παγκόσμιας χωρητικότητας. Η Κίνα σχεδιάζει και κατασκευάζει αρκετά έργα αντλησιοταμίευσης και αναμένεται στα επόμενα χρόνια να περάσει στην πρώτη θέση της παγκόσμιας κατάταξης

Country	Installed PHES capacity/MW
Japan	27 438
China	21 545
United States	20 858
Italy	7 071
Spain	6 889
Germany	6 388
France	5 894
India	5 072
Austria	4 808
Korea, South	4 700
United Kingdom	2 828
Switzerland	2 687
Taiwan	2 608
Australia	2 542
Poland	1 745
Portugal	1 592
South Africa	1 580
Thailand	1 391
Belgium	1 307
Russia	1 246
Czech Republic	1 145
Luxembourg	1 096
Bulgaria	1 052
Iran	1 040
Slovakia	1 017
Argentina	974
Norway	967
Ukraine	905
Lithuania	900
Philippines	709
Greece	699
Serbia	614
Morocco	465
Ireland	292
Croatia	282
Slovenia	185
Canada	174
Romania	53
Chile	31
Brazil	20

Εικόνα 3.2: Εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων αντλησιοταμίευσης ανά χώρα [36]

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης χωρίζονται σε δύο βασικές σχεδιαστικές κατηγορίες ανάλογα με το αν έχουν μονή σωλήνωση ή διπλή. Η πρώτη περίπτωση μπορεί να είναι πιο οικονομική καθώς απαιτούνται λιγότερα έξοδα εγκατάστασης, όμως δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη λειτουργία του στροβίλου και της αντλίας. Με την διπλή σωλήνωση, εξασφαλίζεται η άμεση ανταπόκριση του συστήματος σε καταστάσεις αιχμής. Πιο συγκεκριμένα, έχοντας διπλή σωλήνωση σε στιγμές αυξημένης ζήτησης και ταυτόχρονης παρουσίας περίσσειας ισχύος, είναι εφικτή η μείωση της ισχύος και η λειτουργία των αντλιών για την αξιοποίηση της ενέργειας και από την άλλη η λειτουργία του στροβίλου για την κάλυψη της ζήτησης.

Και στις δύο παραπάνω κατηγορίες, η αντλία, ο στρόβιλος και η γεννήτρια είναι τοποθετημένα σε κοινή άτρακτο με την ίδια φορά λειτουργίας σε κάθε περίπτωση. Τέλος, είναι εφικτή η ταυτόχρονη διπλή λειτουργία των αντλιών με μονή σωλήνωση. Σε αυτό το σύστημα υπάρχει μια αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή που λειτουργεί ανάλογα με την περίσταση είτε σαν αντλία για να αποθηκεύσει ενέργεια, είτε σαν υδροστρόβιλος για την παραγωγή ενέργειας. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά και απαιτούν μικρότερο κόστος κατασκευής.

### **3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αντλησιοταμίευσης**

#### **Πλεονεκτήματα**

Μέσω την αποθηκευμένης ενέργεια, τα έργα αντλησιοταμίευσης μπορούν να προστατεύσουν το δίκτυο. Εξαιτίας των προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος που διαθέτουν έχουν τη δυνατότητα να ελαχιστοποιήσουν τις έντονες διακυμάνσεις στις τιμές των τάσεων. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, των οποίων το κόστος είναι πολύ υψηλό, η αντλησιοταμίευση παράγει με μεγάλη διαφορά το πιο φτηνό ρεύμα σε περιόδους αιχμής και επιτακτικής ανάγκης για περισσότερη ενέργεια. Επιπλέον, τέτοια συστήματα παράγουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να αγγίζουν τα 3 GW έχοντας μάλιστα χαμηλά κόστη λειτουργίας και συντήρησης συγκριτικά με τον παραγωγή τους. Το κόστος που απαιτείται για την άντληση του νερού και την αποθήκευσή τους στον υψηλότερο ταμιευτήρα είναι πολύ φθηνό καθιστώντας το παραγόμενο ρεύμα ανταγωνιστικό οικονομικά. Παρά το μεγάλο τους μέγεθος, έχουν γρήγορη απόκριση και ικανότητα παρακολούθησης των μεταβολών του φορτίου ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές απαιτήσεις στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Τέλος, έχουν την

ικανότητα ρύθμισης της συχνότητας του συστήματος καθώς μπορούν να διατηρούν την τάση σταθερή.

### Μειονεκτήματα

Από την άλλη πλευρά όμως υπάρχουν και πολλά μειονεκτήματα στα συστήματα αντλησιοταμίευσης. Το κυριότερο από αυτά είναι η δυσκολία εύρεσης των κατάλληλων τοποθεσιών για τη δημιουργία του έργου. Απαιτούνται σημαντική διαφορά ανάμεσα στους δύο ταμιευτήρες και μεγάλες ποσότητες νερού. Μια τυπική εγκατάσταση αντλησιοταμίευσης μπορεί να έχει υψομετρική διαφορά μεγαλύτερη των 300 μέτρων σε κάθετο άξονα και δεξαμενές όγκου της τάξης των  $10 \times 10^6 \text{ m}^3$  [36]. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι ένα τέτοιο έργο για να υλοποιηθεί απαιτούνται αρκετά χρόνια και το κόστος της επένδυσης είναι πολύ υψηλό, ειδικά σε περιπτώσεις που απαιτείται δημιουργία τεχνητού ταμιευτήρα καθιστώντας αποτρεπτική την επένδυση παρά το γεγονός του χαμηλού κόστους λειτουργίας και των εγγυημένων για 25 χρόνια συμβολαίων για την αγορά του ηλεκτρικού ρεύματος.

Παρότι πρόκειται για ένα έργο με μηδενικούς ρύπους προς το περιβάλλον, αρκετά έργα έχουν συναντήσει δυσκολίες στην αδειοδοτική διαδικασία καθώς έχει έντονες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής σε περιπτώσεις που απαιτείται η δημιουργία φράγματος για την δημιουργία τεχνητής λίμνης. Κάτι τέτοιο μπορεί να διαταράξει το υδάτινο οικοσύστημα καθώς και την τοπική κοινωνία όσον αφορά τον γεωργικό και κτηνοτροφικό τομέα. Αυτά τα ζητήματα επιχείρησε να τα λύσει η Ιαπωνία το 1999 με την κατασκευή συστήματος αντλησιοταμίευσης με χρήση θαλασσινού νερού. Το συγκεκριμένο εγχείρημα δεν απαιτεί δύο ταμιευτήρες αλλά μόνο έναν που να βρίσκεται κοντά στην θάλασσα άρα μειώνεται το κόστος και δεν αλλοιώνεται έντονα το περιβάλλον, αλλά από την άλλη αντιμετωπίζει μεγάλα προβλήματα διάβρωσης γεγονός που καθιστά αυξημένο το κόστος συντήρησης του έργου.

## **3.3 Περιγραφή Συστήματος Αντλησιοταμίευσης**

### **3.3.1 Αντλίες**

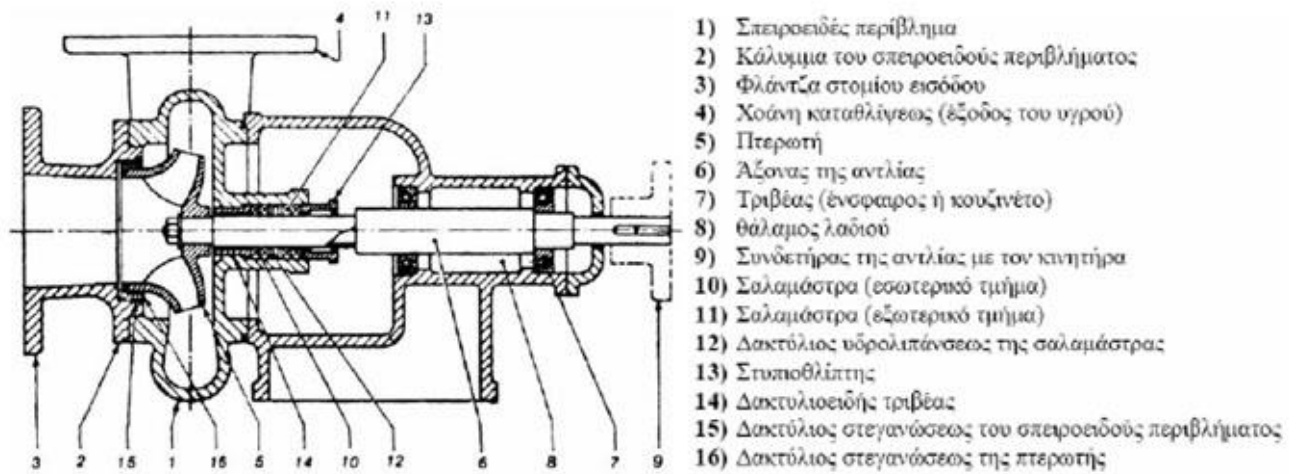
Ο ρόλος των αντλιών στα συστήματα αντλησιοταμίευσης είναι η μεταφορά του νερού από τον χαμηλότερο στον υψηλότερο ταμιευτήρα δια μέσω των σωληνώσεων στις

οποίες παρεμβάλλονται. Ανήκουν στην κατηγορία των στροβιλομηχανών και είναι οι μηχανές από τις οποίες η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ενέργεια ρευστού. Η ενέργεια που μεταφέρουν στο υγρό για την ανύψωσή του ισοδυναμεί αντιστοιχεί στην ενεργειακή αναβάθμιση του υγρού μεταξύ άνω και κάτω ταμιευτήρα καθώς και στην ενέργεια που χάνεται εξαιτίας των υδραυλικών απωλειών μέσα στις σωληνώσεις.

Οι αντλίες αποτελούνται από [Εικόνα 3.3]:

- Το σώμα της αντλίας, ένα πλαίσιο, κατασκευασμένο από υλικά τα οποία είναι ανθεκτικά και στην συνεχή επαφή με το νερό αλλά και στις αυξομειώσεις στις θερμοκρασίας λειτουργίας, στο οποίο μοντάρονται όλα τα μέρη της αντλίας.
- Την περωτή, έναν περιστρεφόμενο δίσκο πάνω στον οποίο υπάρχουν πτερύγια ειδικής μορφής και μέσω αυτής μεταβάλλεται το πεδίο ροής μετατρέποντας την μηχανική ενέργεια σε ενέργεια ρευστού. Η γωνία κλίσης και ο αριθμός των πτερυγίων της περωτής συνδέονται άμεσα με τον βαθμό απόδοσής της.
- Το τμήμα εισόδου, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ομοιόμορφη διανομή της ταχύτητας στην συμμετρική ως προς τον άξονα επιφάνεια εισόδου της περωτής έτσι ώστε όλα τα πτερύγια της περωτής να λειτουργούν με τα ίδια χαρακτηριστικά. Τα τμήματα εισόδου έχουν κωνική ή κυλινδρική διατομή προς την είσοδο της περωτής ή διαθέτουν ημισπειροειδές κέλυφος για να επιτυγχάνουν την επιθυμητή επιταχυνόμενη ροή.
- Το τμήμα εξόδου, έχει τον ρόλο της συλλογής του νερού και την καθοδήγησή του στη διατομή εξόδου της αντλίας. Το νερό φτάνει στο τμήμα εξόδου με πολύ μεγάλη ταχύτητα η οποία πρέπει να μειωθεί στα 4-6 m/sec και παράλληλα να γίνει η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε στατική πίεση. Τα συνηθέστερα τμήματα εξόδου έχουν είτε σπειροειδές κέλυφος είτε διαχύτη εξόδου ο οποίος δεν χρησιμοποιείται συχνά καθώς υπάρχουν μεγάλες απώλειες τριβής.

Πέρα από τα παραπάνω, για την ομαλή λειτουργία της αντλίας απαιτούνται και άλλα τμήματα όπως το εξωτερικό κέλυφος το οποίο εξασφαλίζει την στεγανότητα της μηχανής, η στρεφόμενη άτρακτος μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά της μηχανικής ροπής, τα έδρανα της ατράκτου και οι δακτύλιοι φθοράς που έχουν σκοπό την διατήρηση των ογκομετρικών απωλειών στην επιθυμητή χαμηλή τιμή [37].



Εικόνα 3.3: Τομή υδραυλικής αντλίας  
ΠΗΓΗ: [racs.gr/pumping.html](http://racs.gr/pumping.html)

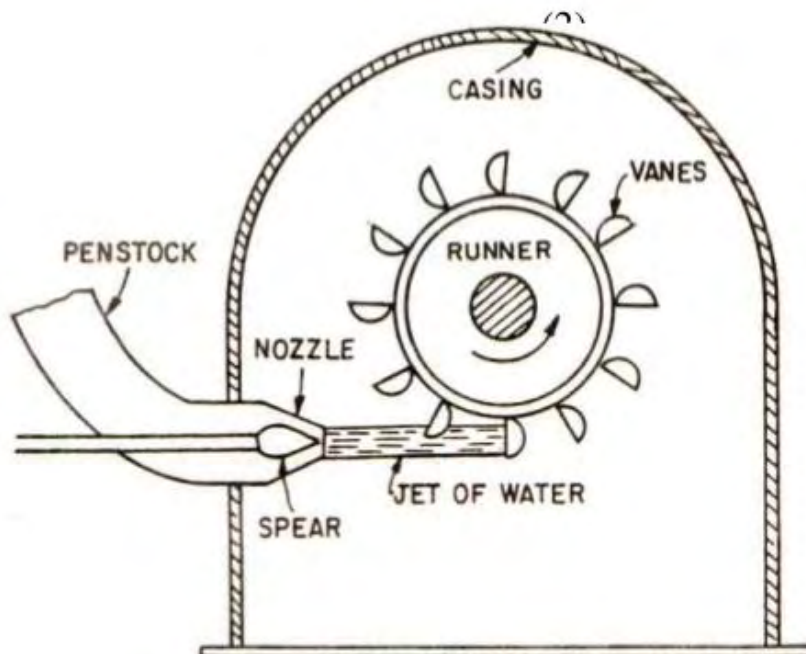
### 3.3.2 Υδροστρόβιλοι

Οι υδροστρόβιλοι είναι οι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια μέσω συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης. Η μετατροπή της ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια γίνεται εξαιτίας της ανάπτυξης κινητήρια ροπής στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το οποίο ονομάζεται δρομέας. Η κινητήρια ροπή μεταφέρεται στην άτρακτο του δρομέα, η οποία είναι συνδεδεμένη με την άτρακτο της γεννήτριας, η οποία και μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Η κατηγοριοποίηση τους γίνεται σε υδροστρόβιλους δράσεως (impulse turbines) και σε υδροστρόβιλους αντιδράσεως (reaction turbines). Στην πρώτη κατηγορία μόνο ένα τμήμα του δρομέα ευθύνεται για την μετατροπή της ενέργειας ενώ στην δεύτερη κατηγορία ολόκληρη η πτερωτή λειτουργεί αξονοσυμμετρικά στην μετατροπή. Επιπλέον ο δρομέας στους υδροστρόβιλους δράσεως λειτουργεί υπό ομοιόμορφη στατική πίεση έχοντας μηδενικό βαθμό αντίδρασης ενώ στους υδροστρόβιλους αντιδράσεως η ροή μέσω του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης του υγρού. Υπάρχουν 3 γνωστοί τύποι υδροστρόβιλων. Οι τύποι Pelton, ανήκων στην κατηγορία των υδροστρόβιλων δράσεως ενώ οι Francis και Kaplan στους υδροστρόβιλους αντιδράσεως [23].

### Υδροστροβίλοι Pelton

Οι Pelton χρησιμοποιούνται σε έργα με υψομετρική πτώση του νερού από 20 έως 300 μέτρα με την ισχύ τους ξεκινάει από τα λίγα kW και να φθάνει τα δεκάδες MW. Ο σχεδιασμός τους είναι πολύ απλός, με έναν κυκλικό δίσκο να είναι τοποθετημένος πάνω σε έναν περιστρεφόμενο άξονα που ονομάζεται ρότορας. Πάνω στον κυκλικό δίσκο υπάρχουν ισομετρικά τοποθετημένα κυπελλοειδή πτερύγια (σκαφίδια). Πάνω στον τροχό τοποθετούνται και τα ακροφύσια μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4, με πολύ υψηλή ταχύτητα, και με την πρόσκρουσή του στον τροχό, ξεκινάει η λειτουργία του υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

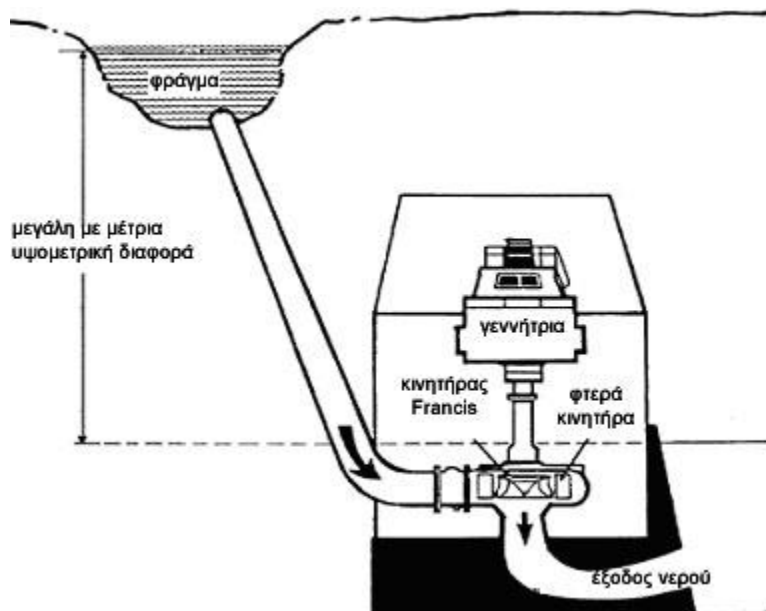


Εικόνα 3.4: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας υδροστροβίλου τύπου Pelton  
ΠΗΓΗ: <https://www.slideshare.net/msstevesimon/hydraulic-turbines-24891748>

### Υδροστροβίλοι Francis

Οι υδροστροβίλοι τύπου Francis χρησιμοποιούνται για έργα υψομετρικής διαφοράς μέχρι 600 μέτρα και είναι οι πιο συνηθισμένοι τύποι σε έργα υδροηλεκτρικά και αντλησιοταμιευτικά έργα ενώ μπορούν να τοποθετηθούν είτε σε οριζόντιο είτε σε κάθετο άξονα έχοντας ισχύ έως και 800 MW. Ο στροβίλος κινείται μέσω της πίεσης του νερού στα πτερύγια της πτερωτής ενώ ταυτόχρονα ένας σταθερός τροχός κινείται αντίθετα με τη

φορά της πτερωτής για την κατάλληλη ρύθμιση της γωνίας πρόσπτωσης και την ρύθμιση της ταχύτητας του νερού, διαδικασία που οδηγεί στην λειτουργία του στρόβιλου και στην παραγωγή ισχύος. Το νερό χάνει ταχύτητα καθώς προσκρούει στα πτερύγια και στη συνέχεια εξαιτίας της βαρύτητας οδηγείται στην φυσική ροή του χαμηλού ταμιευτήρα [Εικόνα 3.5]. Ο στρόβιλος ρυθμίζεται ανάλογα με την μεταβολή της κλίσης των πτερυγίων προσδίδοντας στον υδροστρόβιλο μεγαλύτερη ευελιξία και καλύτερο βαθμό απόδοσης καθώς μειώνονται οι τριβές και οι απώλειες [23, 30]. Τέτοιου τύπου στρόβιλοι επιτυγχάνουν αποδόσεις έως και 95% με την σταθεροποίηση της ταχύτητας και κατεύθυνσης του εισερχόμενου νερού.



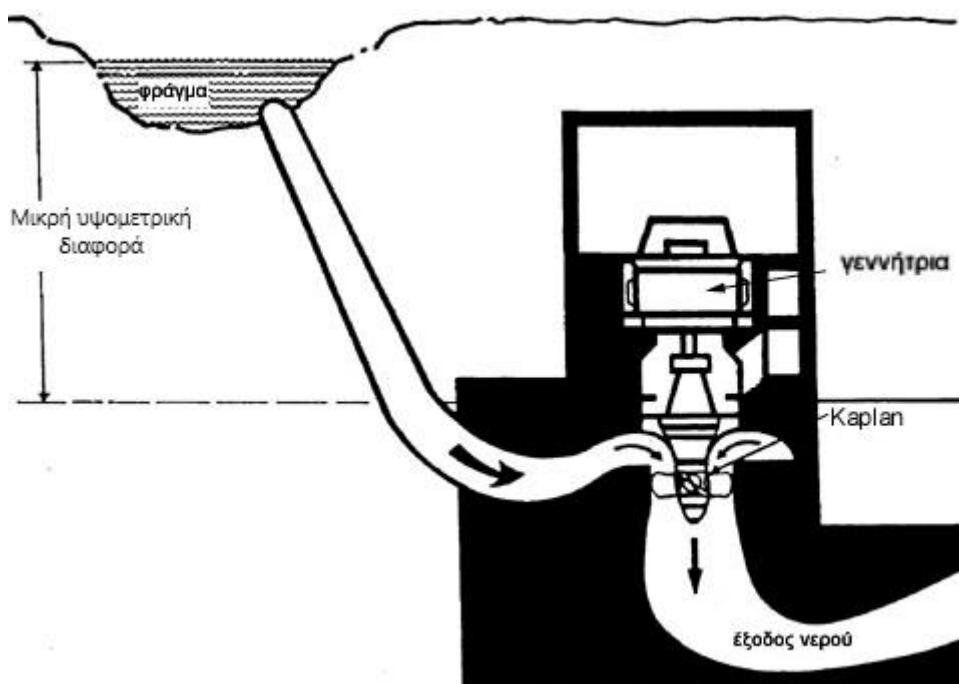
Εικόνα 3.5: Λειτουργία υδροστρόβιλου τύπου Francis  
ΠΗΓΗ: [http://www.water-turbines.com/Francis\\_Turbine.html](http://www.water-turbines.com/Francis_Turbine.html)

### Υδροστρόβιλοι Kaplan

Οι τύπου Kaplan υδροστρόβιλοι συναντώνται κυρίως σε συστήματα με μικρή υψομετρική απόκλιση αλλά με μεγάλες ποσότητες ροής. Η διέλευση του νερού γίνεται σε ευθεία διαδρομή κάτι που καθιστά την κατασκευή του πιο απλή μειώνοντας παράλληλα και το κόστος της εγκατάστασης. Το νερό εισέρχεται μέσω κυκλικό αγωγό, προσπίπτει πάνω στη πτερύγια και στη συνέχεια εξέρχεται μέσω αγωγού απαγωγής. Τα πτερύγια μπορεί να είναι είτε σταθερά, είτε η κλίση τους να μεταβάλλεται ομοιόμορφα μέσω μηχανισμού κίνησης [Εικόνα 3.6]. Όπως και στους τύπου Francis, οι Kaplan έχουν τη



δυνατότητα να αλλάζουν την κλίση των πτερυγίων τους για να πετυχαίνουν καλύτερο βαθμό απόδοσης. Ο δρομέας αποτελείται 3-7 πτερύγια, που έχουν και αυτά την δυνατότητα μεταβολής της κλίσης τους, ώστε να λειτουργεί ικανοποιητικά για ευρεία μεταβολή του ύψους πτώσης. Το τμήμα εξόδου κωνικής μορφής, χρησιμεύει στην μείωση της ταχύτητας του ρευστού, με ταυτόχρονη αύξηση της στατικής του πίεσης, έτσι ώστε η είσοδός του στον κάτω ταμιευτήρα να γίνεται ομαλά και με μικρή ταχύτητα [23].



Εικόνα 3.6: Λειτουργία υδροστρόβιλου τύπου Kaplan

ΠΗΓΗ: [http://www.water-turbines.com/Kaplan\\_Turbine.html](http://www.water-turbines.com/Kaplan_Turbine.html)

### 3.3.2 Ηλεκτρομηχανικός εξοπλισμός αποθήκευσης – απόδοσης ενέργειας

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με τον ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό που διαθέτουν:

1. **Ενιαίος αναστρέψιμος εξοπλισμός**, με τον υδροστρόβιλο, την αντλία και την ηλεκτρική μηχανή με τη δυνατότητα λειτουργίας είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια να συνδέονται σε κοινή άτρακτο με την φορά της περιστροφής να είναι η ίδια και κατά τη διάρκεια της άντλησης αλλά και κατά την διάρκεια παραγωγής ρεύματος. Αυτός ο εξοπλισμός έχει μικρό κόστος και δεν καταλαμβάνει πολύ χώρο αλλά παρουσιάζει αργή αλλαγή της λειτουργίας και δυσκολία εκκίνησης της αντλίας.

2. **Ξεχωριστή αντλία και υδροστρόβιλος με κοινή αναστρέψιμη ηλεκτρική μηχανή σε κοινή άτρακτο.** Αυτή η περίπτωση είναι ιδανική για την προσαρμογή της λειτουργίας κάθε μηχανής, παρέχει γρήγορη εναλλαγή ανάμεσα στις λειτουργίες του συστήματος, έχει εύκολη και άμεση εκκίνηση της αντλίας. Από την άλλη πλευρά όμως έχει αυξημένο κόστος καθώς απαιτείται μια περισσότερη μηχανή σε σχέση με τον ενιαίο αναστρέψιμο.
3. **Ξεχωριστά συγκροτήματα,** που χρησιμοποιούνται κυρίως σε έργα με ισχύ μικρότερη των 10 MW. Στα πλεονεκτήματα τους η διάθεση τυποποιημένου εξοπλισμού που μειώνει το κόστος και την αναμονή παράδοσης, η καλή προσαρμογή της λειτουργίας κάθε μηχανής και ο μικρός χρόνος αντιστροφής της λειτουργίας. Στα μειονεκτήματα, η απαίτηση μεγάλου χώρου για την τοποθέτηση καθώς και η πολύπλοκη και ακριβή διαμόρφωση των σωληνώσεων [27].

### 3.4 Συστήματα Αντλησιοταμίευσης υπό λειτουργία

Στην Ελλάδα λειτουργούν δύο αναστρέψιμοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα και του Θησαυρού στον ποταμό Νέστο που ανήκουν και τα δύο στην ΔΕΗ, συνολικής ισχύος 699 MW. Τα παραπάνω έργα δεν είναι συνδεδεμένα με κάποιο σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα [Εικόνα 3.7], βρίσκεται λίγο έξω από την πόλη της Βέροιας και τέθηκε σε λειτουργία το 1985. Στο σύστημα λειτουργούν τρεις αναστρέψιμες μονάδες συνολικής ισχύος 315 MW με την χωρητικότητα του ταμιευτήρα να είναι στα 20 εκ. m<sup>3</sup>. Οι στρόβιλοι έχουν την δυνατότητα να αναστρέφονται με σκοπό κατά τη διάρκεια της νύχτας να αντλούν νερό από την λίμνη Ασωμάτων λαμβάνοντας την περίσσεια ενέργεια από τους κοντινούς λιγνιτικούς σταθμούς και να την αποδίδουν την διάρκεια της ημέρας που παρατηρούνται μεγαλύτερες ανάγκες για παραγωγή ρεύματος. Η παραγωγή ρεύματος από τα νερά του ποταμού είναι 266 GWh/έτος και η παραγωγή από την αναστρέψιμη λειτουργία είναι 394 GWh/έτος. Η λίμνη των Ασωμάτων έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 14 εκ. m<sup>3</sup> και η εγκατεστημένη ισχύς του υδροηλεκτρικού σταθμού Ασωμάτων είναι τα 108 MW [26, 27].



Εικόνα 3.7: Αεροφωτογραφία ΥΗΣ Σφηκιάς – Ασωμάτων  
ΠΗΓΗ: <https://www.flickr.com/photos/85915004@N03/29927517726>

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Θησαυρού στον ποταμό Νέστο, βρίσκεται περίπου 60 χιλιόμετρα έξω από την πόλη της Δράμας, κοντά στο χωριό Παρανέστι και τέθηκε σε λειτουργία το 1997. Είναι αναστρέψιμος σταθμός και λειτουργεί όπως και του ΥΗΣ Σφηκιάς, αντλώντας νερό από τον ταμιευτήρα Πλατανόβρυσης και αποθηκεύοντάς το στον ταμιευτήρα Θησαυρού. Οι τρεις αναστρέψιμες μονάδες του παράγουν συνολική ισχύ 384 MW είναι τύπου Francis με κατακόρυφο άξονα και ο ταμιευτήρας έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 656 εκ. m<sup>3</sup> με φράγμα του Θησαυρού να είναι από τα μεγαλύτερη στην Ευρώπη με ύψος 165 μέτρα [Εικόνα 3.8].

Το φράγμα της Πλατανόβρυσης έχει ισχύ 116 MW που παράγεται από δύο μονάδες τύπου Francis κατακόρυφου άξονα ισχύος 58 MW η καθεμία και ο ταμιευτήρας του έχει ωφέλιμο όγκο 12 εκ. m<sup>3</sup>. Η παραγωγή από τα νερά του ποταμού είναι 440 GWh/έτος και η παραγωγή από την αναστρέψιμη λειτουργία είναι 615 GWh/έτος [26, 27].



Εικόνα 3.8: Αεροφωτογραφία ΥΗΣ Θησαυρού – Πλατανόβρυσης

ΠΗΓΗ: <http://www.proinos-typos.gr/>

Τα δύο αυτά έργα είναι οι μοναδικές μπαταρίες στο ελληνικό δίκτυο. Το μεγαλύτερο έργο αντλησιοταμίευσης ολοκληρώθηκε το 1985 στην περιοχή του Bath County της Virginia των ΗΠΑ. Έχει μέγιστη παραγωγική ικανότητα 3.003 MW μέσω έξι μονάδων 500.5 MW τύπου Francis, με μέση παραγωγή 2.773 MW, και συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης 23.000 MWh.

Οι δύο ταμιευτήρες [Εικόνα 3.9] έχουν υψομετρική διαφορά 380 μέτρων και αποτελεί την «μεγαλύτερη μπαταρία στον κόσμο» [38]. Έχει τη δυνατότητα μέσα σε 5 λεπτά να υποστηρίξει το δίκτυο σε καταστάσεις αιχμής παρέχοντας άμεσα 500 MW ενώ η συνολική ενέργεια που αποθηκεύει μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες 60 εκατομμυρίων ανθρώπων σε 13 πολιτείες των ΗΠΑ.





Εικόνα 3.9: Αεροφωτογραφία Συστήματος Αντλησιοταμείωσης στο Bath County  
ΠΗΓΗ:<https://www.chacompanies.com/projects/bath-county-pumped-storage-station-deformation-monitoring/>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με το Σύστημα Αντλησιοταμίευσης στην Αμφιλοχία. Πρόκειται για ένα έργο της εταιρείας ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Β.Ε.Τ.Ε. θυγατρική του ομίλου ΓΕΚ ΤΕΡΝΑ το οποίο έχει λάβει άδεια παραγωγής από τη ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) και προσωρινούς όρους σύνδεσης από τον ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) και στην παρούσα φάση είναι σε εξέλιξη η μελέτη για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του έργου.

Αποτελεί από τον Οκτώβριο του 2013 Έργο Κοινού Ενδιαφέροντος (PCI) της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπό τον κωδικό PCI 3.24 και εντάσσεται στο σχέδιο διασύνδεσης ηλεκτρικής ενέργειας Βορρά – Νότου στην Κεντροανατολική και Νοτιοανατολική Ευρώπη. Τα Έργα Κοινού Ενδιαφέροντος συμβάλλουν στην ενοποίηση της αγοράς ενέργειας, την ενίσχυση της ασφάλειας εφοδιασμού και τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Τα συγκεκριμένα έργα επωφελούνται από ταχύτερη και πιο αποτελεσματική διαδικασία χορήγησης αδειών και ευνοϊκότερο κανονιστικό πλαίσιο καθώς μόνο μια αρμόδια εθνική αρχή λειτουργεί ως σημείο ενιαίας εξυπηρέτησης για τις παραπάνω διαδικασίες. Επιπλέον διακατέχονται από μεγαλύτερη διαφάνεια στο σύνολο των διαδικασιών και τέλος στα Έργα Κοινού ενδιαφέροντος υπάρχει βελτιωμένη, γρηγορότερη και πιο ορθολογική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Το Έργο Κοινού Ενδιαφέροντος PCI 3.24 με την ονομασία «Σύστημα Αντλησιοταμίευσης με δύο ανεξάρτητες άνω δεξαμενές: Άγιος Γεώργιος και Πύργος» βρίσκεται στον Δήμο Αμφιλοχίας και ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Αιτωλοακαρνανίας. Στις θέσεις «Άγιος Γεώργιος» και «Πύργος» θα τοποθετηθούν οι δύο άνω ταμιευτήρες ενώ η τεχνητή λίμνη Καστρακίου θα χρησιμοποιηθεί σαν κοινή κάτω δεξαμενή.

Σκοπός του συγκεκριμένου έργου είναι η αποθήκευση ενέργειας με στόχο την μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα της ενεργειακής παραγωγής. Σε περιόδους περίσσειας αιολικής, φωτοβολταϊκής ή/και θερμικής παραγωγής, η ενέργεια θα αποθηκεύεται υδραυλικά, μέσω άντλησης ύδατος από την τεχνητή λίμνη Καστρακίου στις δύο άνω δεξαμενές και σε περιόδους υψηλής

ζήτησης, η αποθηκευμένη αυτή ενέργεια θα αποδίδεται πάλι ως ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα μέσω των υδροστρόβιλων [39].

Άλλο ένα χαρακτηριστικό της σπουδαιότητας του συγκεκριμένου έργου είναι το γεγονός πως 2012, ένα χρόνο πριν χαρακτηριστεί Έργο Κοινού Ενδιαφέροντος, με απόφαση της Διυπουργικής Επιτροπής Στρατηγικών Επενδύσεων, χαρακτηρίστηκε ως Στρατηγική Επένδυσης και εντάχθηκε στις Διαδικασίες Στρατηγικών Επενδύσεων του Ν.3894/2010 και εν συνεχεία το 2014, οι τεχνικές μελέτες του έργου καθώς και η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων εντάχθηκαν για συγχρηματοδότηση στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα «Συνδέοντας την Ευρώπη – Ενέργεια (CEF – Energy)». Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ένα βασικό εργαλείο της ΕΕ για την προώθηση της ανάπτυξης ενεργειακών υποδομών σε Ευρωπαϊκό επίπεδο διευκολύνοντας έτσι τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σύμφωνα με τη στρατηγική «Ευρώπη 2020» [40].

## **4.2 Γενικά Χαρακτηριστικά**

Το Σύστημα Αντλησιοταμίευσης στην Αμφιλοχία θα έχει τη δυνατότητα παραγωγής 680 MW για παραγωγή ενέργειας και 730 MW για άντληση των υδάτων. Η υφιστάμενη τεχνητή λίμνη Καστρακίου (ιδιοκτησίας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού - ΔΕΗ) θα αποτελέσει τον κάτω ταμιευτήρα ενώ θα κατασκευαστούν δύο ξεχωριστοί άνω ταμιευτήρες. Συγκεκριμένα στη θέση «Καπνισόρρεμα» θα κατασκευαστεί ο ταμιευτήρας «Άγιος Γεώργιος» ενώ στη θέση «Σομπόρρεμα» ο ταμιευτήρας «Πύργος».

## **4.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά**

### **4.3.1 Κάτω Ταμιευτήρας**

Η λίμνη Καστρακίου θα χρησιμοποιηθεί ως κοινός κάτω ταμιευτήρας και για τα δύο έργα. Αποτελεί μια τεχνητή λίμνη κοντά στο χωριό Καστράκι της Αιτωλοακαρνανίας πάνω στην κοίτη του ποταμού Αχελώου. Το φράγμα της για τον υδροηλεκτρικό σταθμό έχει ύψος 95 μέτρα και μήκος 530 μέτρα. Ο συγκεκριμένος ταμιευτήρας έχει το πλεονέκτημα της μικρής διακύμανσης μεταξύ ανώτατης και κατώτατης στάθμης, μόλις 2.20 m. Αυτό οφείλεται στον αρχικό του σχεδιασμό καθώς η μεγάλη έκτασή του (28 km<sup>2</sup>) δημιουργεί μικρές αποκλίσεις στη στάθμη του νερού. Κατά την κατασκευή του έργου αναμένεται να προστεθούν ανατρεπόμενα θυροφράγματα στον υπερχειλιστή ύψους 1.80 m με την διακύμανση της στάθμης να φτάνει τα 4.00 m και τον ωφέλιμο όγκο να

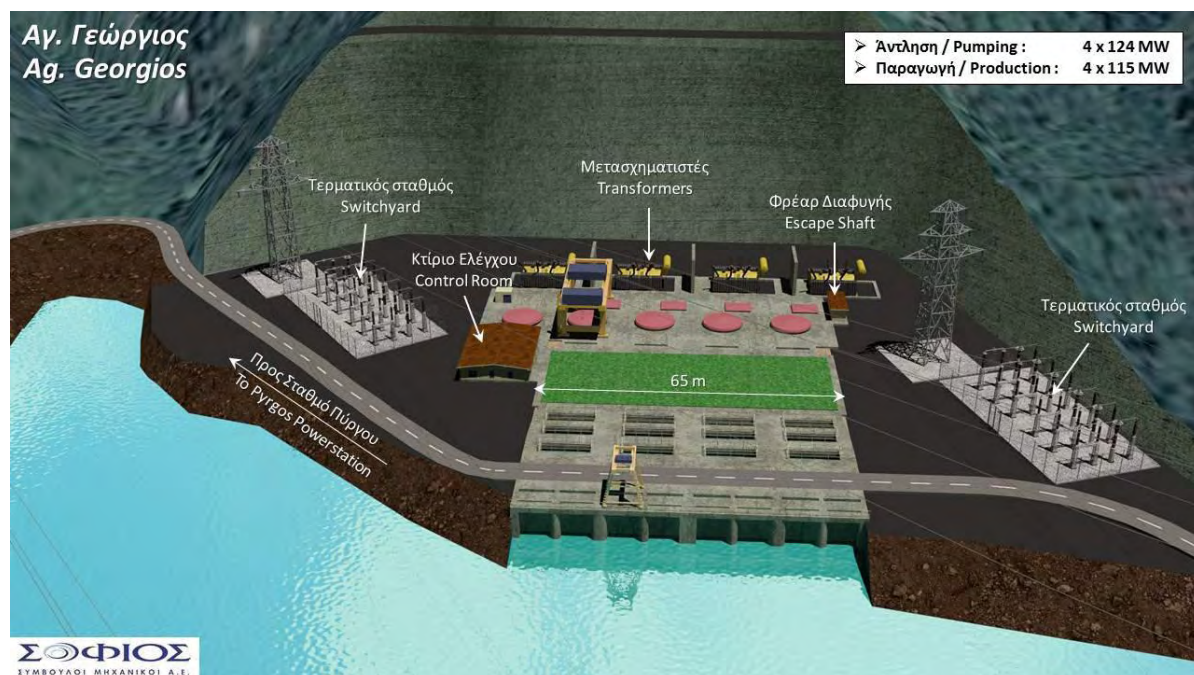
αυξάνεται κατά 83 % φτάνοντας τα 97.000.000 m<sup>3</sup>. Έτσι η Μέγιστη Στάθμη Λειτουργίας θα φτάσει στα +144.65 σε σχέση με την Στάθμη Λειτουργίας χωρίς τα θυροφράγματα που είναι προς το παρόν στα +142.85, ενώ η Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας είναι τα +140.65. Κατά την λειτουργία των δύο αντλησιοταμιευτικών έργων, ο «Άγιος Γεώργιος» θα μεταβάλει τη στάθμη του ταμιευτήρα Καστρακίου, εξαιτίας της άντλησής του, κατά 0.2 m ενώ το έργο του Πύργου κατά 0.08 m, φτάνοντας την μέγιστη βύθιση του ταμιευτήρα Καστρακίου σε περιόδους άντλησης στα 0.28 m [41].

#### 4.3.2 Σύστημα Αντλησιοταμίευσης «Άγιος Γεώργιος»

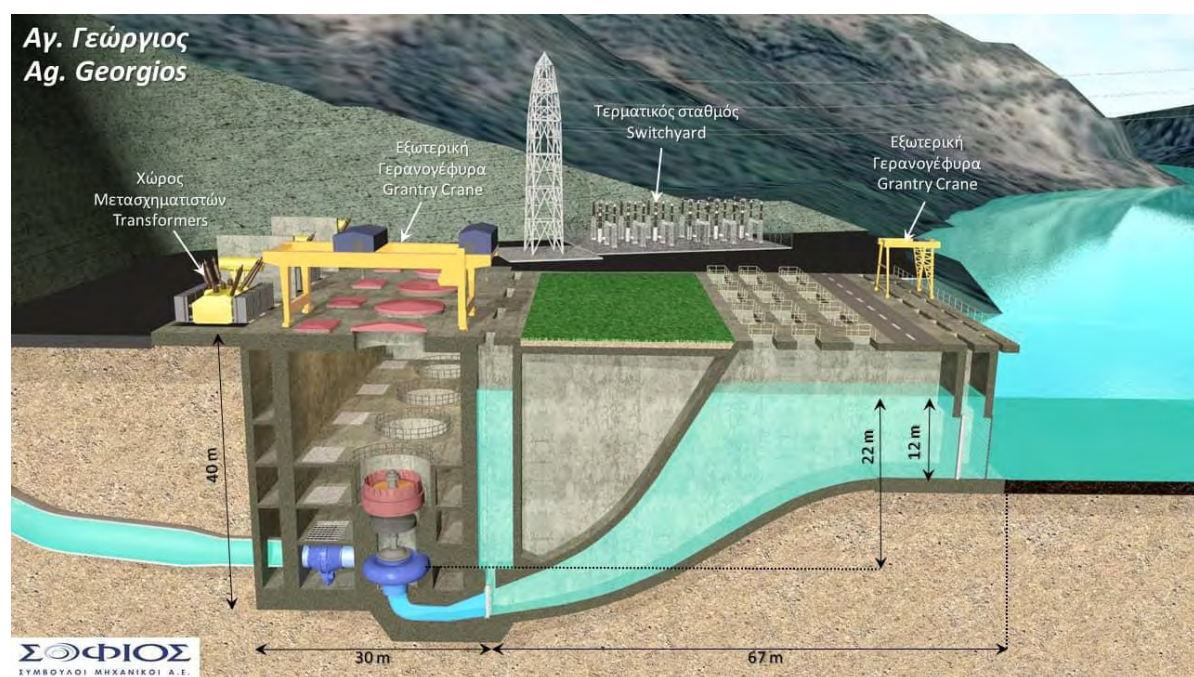
Ο άνω ταμιευτήρας στη θέση «Άγιος Γεώργιος» αναμένεται να έχει έκταση 323 στρέμματα με λεκάνη απορροής 4.39 km<sup>2</sup> και ωφέλιμο όγκο νερού 5.000.000 m<sup>3</sup>. Η κατασκευή του φράγματος θα γίνει επί του ρέματος «Καπνισόρρεμα» με ύψος από τη θεμελίωση 54.50 m και με μήκος στέψης 463 m σε υψόμετρο +384.50 ενώ το πλάτος της στέψης θα είναι 5.00 m. Η Μέγιστη Στάθμη Λειτουργίας έχει οριστεί στη στάθμη +383.00 ενώ η ελάχιστη στη στάθμη +359.50. Σύμφωνα με τη μελέτη το φράγμα που θα έχει ωφέλιμο όγκο 620.000 m<sup>3</sup> θα κατασκευαστεί από σκληρό επίχωμα ενώ τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν θα προέλθουν από τις εκσκαφές που θα γίνουν κατά τη διάρκεια των έργων.

Το φράγμα «Άγιος Γεώργιος» θα διαθέτει μετωπικό υπερχειλιστή ελεύθερης υπερχειλίσης χωρίς θυροφράγματα με μήκος 30m και παροχή σχεδιασμού 34.60 m<sup>3</sup>/sec ενώ η υδροληψία θα γίνεται μετωπικά από πέντε σημεία επίπεδων εσχάρων συνολικής παροχής άντλησης 176.39 m<sup>3</sup>/sec και συνολικής παροχής για παραγωγή 235.19 m<sup>3</sup>/sec. Στο σημείο αυτό θα κατασκευαστεί Ημιυπαίθριος Σταθμός Παραγωγής 3.000 m<sup>2</sup> και μέγιστο ύψος 42 m [Εικόνες 4.1 και 4.2]. Ο σταθμός θα εξοπλίζεται με τέσσερις αναστρέψιμες μονάδες τύπου Francis σε κατακόρυφο άξονα και τέσσερις μετασχηματιστές, έναν για κάθε αναστρέψιμη μονάδα, στο εξωτερικό του κτιρίου του σταθμού παραγωγής. Η λειτουργία των αντλιών θα διαρκεί 8 ώρες ημερησίως ενώ η λειτουργία των στροβίλων 6 ώρες ημερησίως με εκτιμώμενη λειτουργία ανά έτος τις 200 ημέρες περίπου. Μέσω των τεσσάρων αυτών στροβιλοαντλίων ο Σταθμός «Άγιος Γεώργιος» θα έχει τη δυνατότητα άντλησης 496 MW και παραγωγής 460 MW με βαθμό απόδοσης συστήματος 69.60 % [40,41].





Εικόνα 4.1: Ημιυπαίθριος Σταθμός «Άγιος Γεώργιος»



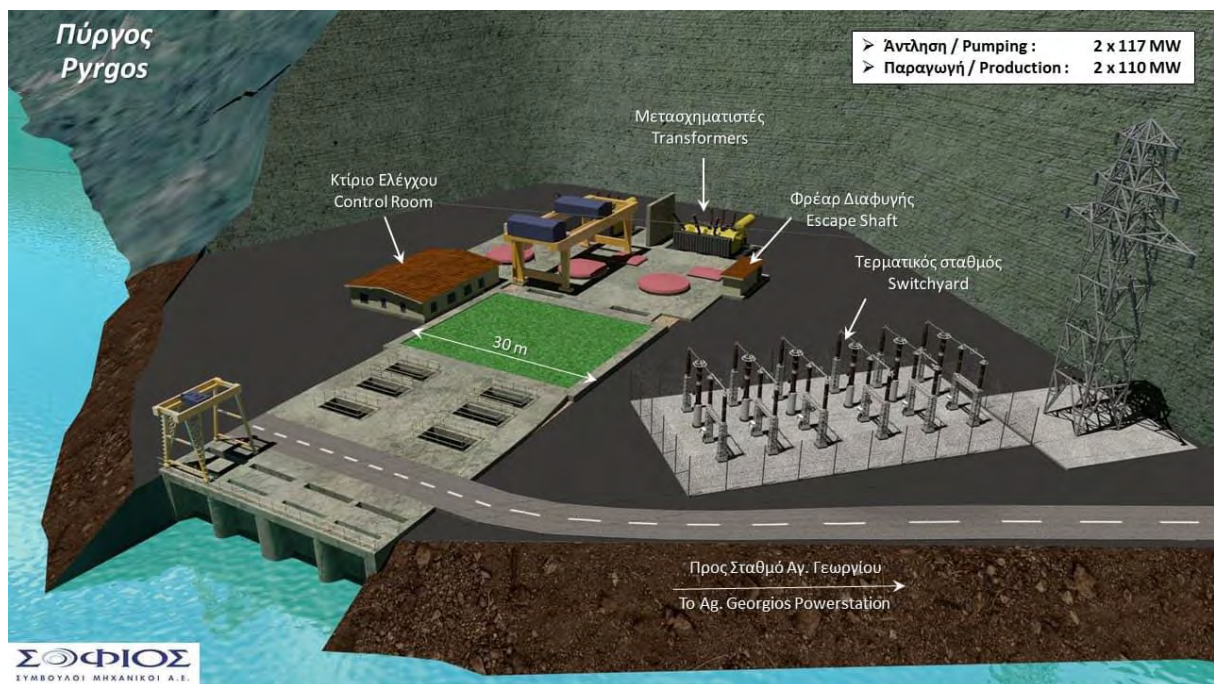
Εικόνα 4.2: Εσωτερικό ημιυπαίθριου Σταθμού «Άγιος Γεώργιος»

#### 4.3.3 Σύστημα Αντλησιοταμίευσης «Πύργος»

Ο άνω ταμιευτήρας στη θέση «Πύργος» έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον ταμιευτήρα «Άγιος Γεώργιος» αλλά σε μικρότερο μέγεθος και ισχύ. Θα καταλαμβάνει έκταση 183 στρέμματα με λεκάνη απορροής 3.35 km<sup>2</sup> και ωφέλιμο όγκο νερού

2.000.000 m<sup>3</sup>. Το φράγμα από σκληρό επίχωμα θα κατασκευαστεί επί του ρέματος «Σομπόρρεμα» με ύψος από τη θεμελίωση 52.00 m και ωφέλιμο όγκο 160.000 m<sup>3</sup>. Ο μετωπικός υπερχειλιστής ελεύθερης υπερχείλισης χωρίς θυροφράγματα θα έχει μήκος 14m και παροχή σχεδιασμού 29.30 m<sup>3</sup>/sec ενώ η υδροληψία θα γίνεται μετωπικά από τρία σημεία επίπεδων εσχάρων συνολικής παροχής άντλησης 69.79 m<sup>3</sup>/sec και συνολικής παροχής για παραγωγή 93.06 m<sup>3</sup>/sec.

Ο Ημιυπαίθριος Σταθμός Παραγωγής που θα καταλαμβάνει 1.650 m<sup>2</sup> με ανώτατο ύψος 41 m [Εικόνα 4.3] θα εξοπλίζεται με δυο αναστρέψιμες μονάδες τύπου Francis κατακόρυφου άξονα καθώς και δύο μετασχηματιστές. Η λειτουργία των αντλιών θα διαρκεί 8 ώρες ημερησίως ενώ η λειτουργία των στροβίλων 6 ώρες ημερησίως με εκτιμώμενη λειτουργία ανά έτος τις 200 ημέρες περίπου. Οι δύο αυτές στροβιλοαντλίες του Σταθμού «Πύργος» θα έχουν τη δυνατότητα άντλησης 234 MW και παραγωγής 220 MW με βαθμό απόδοσης συστήματος 70.50 % [40, 41].



Εικόνα 4.3: Ημιυπαίθριος Σταθμός «Πύργος»

#### 4.3.4 Σύστημα Μεταφοράς Νερού

Και σε αυτή την περίπτωση το έργο αντλησιοταμίευσης «Άγιος Γεώργιος» και το έργο αντλησιοταμίευσης «Πύργος» διακατέχονται από την ίδια φιλοσοφία. Το σύστημα

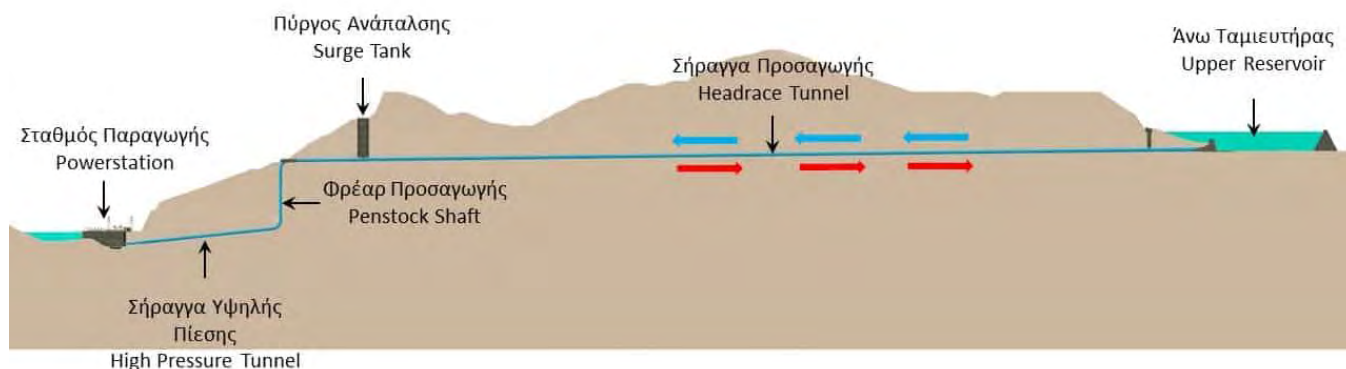


μεταφοράς νερού είναι αυτό που ενώνει τον Κάτω με τον Άνω Ταμιευτήρα στα έργα αντλησιοταμίευσης και περιλαμβάνει:

- Την υδροληψία
- Τη σήραγγα προσαγωγής με το φρέαρ θυροφραγμάτων και το φρέαρ ανάπαλσης
- Το πύργο ανάπαλσης
- Τη σήραγγα υψηλής πίεσης και τις διακλαδώσεις προς τις αναστρέψιμες μονάδες του σταθμού

Στον σταθμό αντλησιοταμίευσης «Άγιος Γεώργιος» προβλέπεται υπόγεια κυκλική σήραγγα προσαγωγής που οδηγεί το νερό από την υδροληψία στον αγωγό πτώσης. Είναι κατασκευασμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα με διάμετρο 7.80 m και μήκος 2 km με συνολικό μήκος προσαγωγής 2.8 km. Αντίστοιχα, στον σταθμό αντλησιοταμίευσης «Πύργος» η υπόγεια σήραγγα ίδιων χαρακτηριστικών έχει διάμετρο 5.00 m και μήκος 900 m ενώ το συνολικό μήκος προσαγωγής είναι περίπου 1.600 m. Και τα δύο έργα έχουν θυροφράγματα λειτουργίας με κυλιόμενους τροχούς μεγέθους 4.50 x 7.80 m και 3.00 x 5.00 m αντίστοιχα.

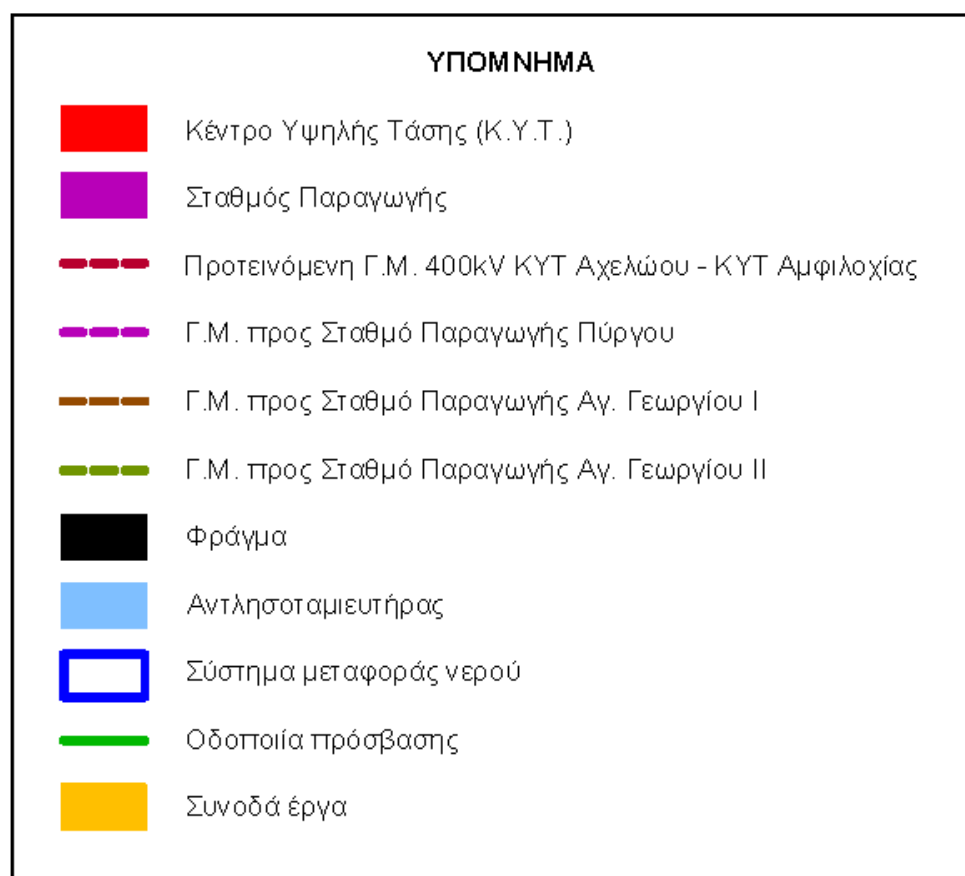
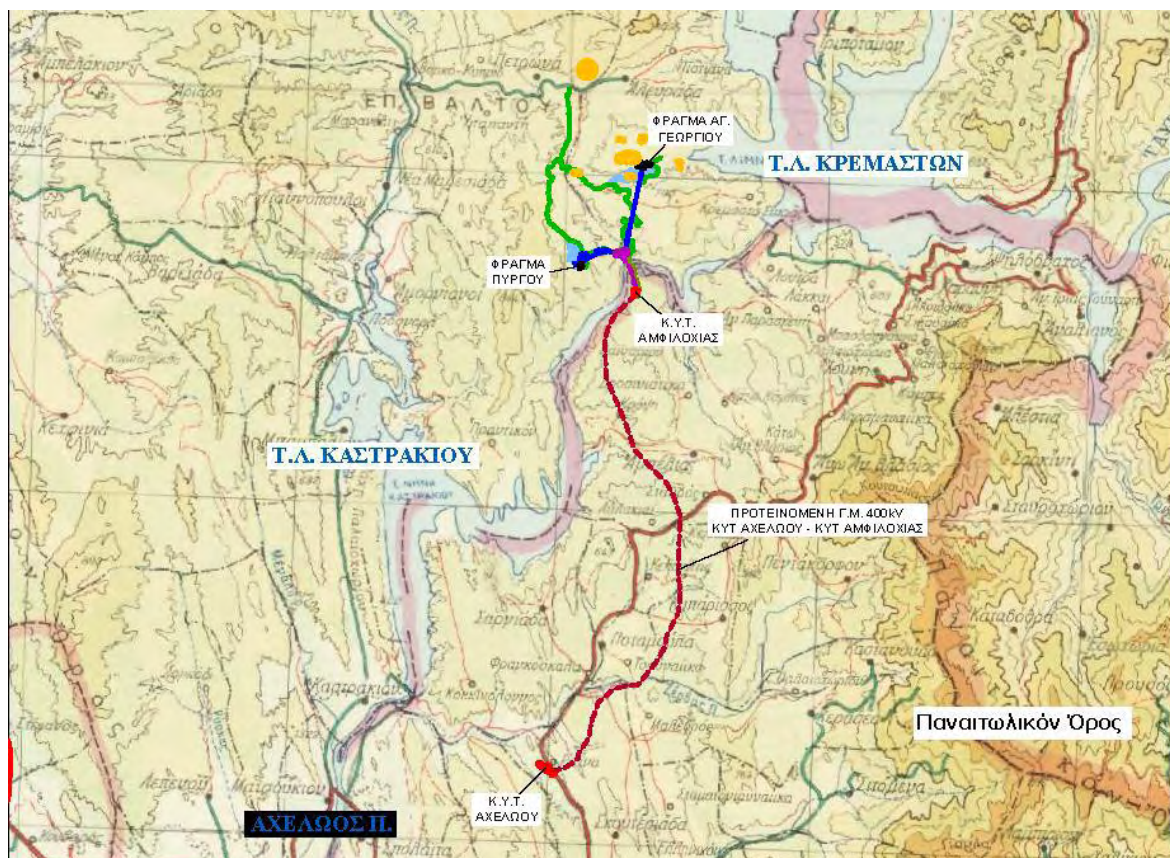
Λόγω της μεγάλης απόστασης των άνω ταμιευτήρων με τους σταθμούς παραγωγής και στα δύο έργα, στην είσοδο του αγωγής πτώσης είναι τοποθετημένοι πύργοι ανάπαλσης με σκοπό την εκτόνωση των πιέσεων εξαιτίας του υδραυλικού πλήγματος. Ο πύργος ανάπλασης (ή αλλιώς δεξαμενή ανάπλασης) ρυθμίζει την ποσότητα του νερού φροντίζοντας να καλύπτει τις ανάγκες του στροβίλου, ανοίγοντας τα πτερύγια όταν απαιτείται μεγαλύτερη παροχή ή κλείνοντάς τα και αποθηκεύοντας νερό όταν κλείνει ο στρόβιλος και μηδενίζεται η παροχή [Εικόνα 4.4]. Ο πύργος ανάπαλσης στον «Άγιο Γεώργιο» έχει διάμετρο 16 m και ύψος 93 m ενώ αυτός του «Πύργου» έχει διάμετρο 12 m και ύψος 56 m. Μετά τον πύργο ανάπαλσης η μελέτη των δύο έργων προσδιορίζει κατακόρυφο φρέαρ προσαγωγής διαστάσεων ύψος 162 και 230 μέτρων αντίστοιχα, οδηγώντας το νερό στη σήραγγα υψηλής πίεσης η οποία αποτελεί το τελευταίο στάδιο του συστήματος μεταφοράς νερού και είναι υπεύθυνη για την είσοδο του νερού στους στροβίλους με μεγάλη ταχύτητα και πίεση με σκοπό την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [40, 41, 42].



Εικόνα 4.4: Διάγραμμα Συστήματος Μεταφοράς Νερού

#### 4.4 Συνοδά Έργα

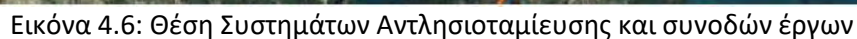
Πέρα από τα παραπάνω έργα που απαιτούνται για την δημιουργία των δύο συστημάτων αντλησιοταμίευσης, είναι απαραίτητα να γίνουν και κάποια υποστηρικτικά έργα για την ομαλή λειτουργία των συστημάτων. Το πιο σημαντικό είναι η δημιουργία νέου Κέντρου Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Τ. ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ) που θα κατασκευαστεί σε φυσικό πλάτωμα επί της αριστερής όχθης της λίμνης Καστρακίου και θα έχει έκταση περίπου 70 στρέμματα. Από τους μετασχηματιστές 20/400 kV των σταθμών «Άγιος Γεώργιος» και «Πύργος» θα ξεκινούν Γραμμές Μεταφοράς προς το νέο Κ.Υ.Τ. ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ. Πιο συγκεκριμένα αναμένονται δύο διασυνδεντικές γραμμές μεταφοράς από τον σταθμό παραγωγής «Άγιος Γεώργιος» μήκους 1.358 m (7 πυλώνες) και 1.646 m (9 πυλώνες) προς το Κ.Υ.Τ. ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ και μία από τον σταθμό παραγωγής «Πύργος» μήκους 1.381 m με εγκατάσταση 7 πυλώνων. Στην συνέχεια, μέσω δημιουργίας νέας Γραμμής Μεταφοράς 400 kV από το Κ.Υ.Τ. ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ μήκους 19 χιλιομέτρων και 54 πυλώνες, θα γίνει η διασύνδεση με το υφιστάμενο Κ.Υ.Τ. ΑΧΕΛΩΟΟΥ [Εικόνα 4.5].



Εικόνα 4.5: Χάρτης Προσανατολισμού



Στην Εικόνα 4.6 παρατηρούμε το σύνολο των έργων που πρόκειται να γίνουν στην ευρύτερη περιοχή της Αμφιλοχίας καθώς και τις ακριβείς τοποθεσίες αυτών στον χάρτη.



## 4.5 Οφέλη του έργου

Ο εκτιμώμενος προϋπολογισμός του συγκεκριμένου έργου ανέρχεται στα 502.000.000 ευρώ (Άγιος Γεώργιος 335 εκ. ευρώ και Πύργος 167 εκ. ευρώ) και όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό αναμένεται να επιφέρει πολλαπλά οφέλη [40].

### Οφέλη στην Εθνική και Ευρωπαϊκή Αγορά Ενέργειας:

- Το διπλό αυτό σύστημα αντλησιοταμίευσης παρέχει ευελιξία και σταθερότητα στο διασυνδεδεμένο δίκτυο καθώς ανταποκρίνεται άμεσα στις απότομες μεταβολές της ζήτησης του ηλεκτρικού ρεύματος
- Παρέχει δυνατότητα για ασφαλή και αποδοτική μεταφορά αλλά και ανταλλαγή ενέργειας προερχόμενη από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μεταξύ της Ελλάδας και άλλων Κρατών Μελών της ΕΕ
- Μεγιστοποίηση της απόδοσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς λειτουργεί συμπληρωματικά με τις υπάρχουσες υποδομές και αξιοποιούν το πλεόνασμα από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα
- Είναι σε θέση να εξασφαλίσει επικουρικές υπηρεσίες όπως η ρύθμιση της συχνότητας και της τάσης του δικτύου
- Δυνατότητα σταθεροποίησης της τιμής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Άμεση ανταπόκριση στις ανάγκες ζήτησης του δικτύου
- Απεξάρτηση από εισαγωγές καυσίμων καθώς εξασφαλίζει σημαντικές ποσότητες ενεργειακού εφοδιασμού

### Οφέλη στο Περιβάλλον

- Μείωση των ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου καθώς κατά τη λειτουργία του συστήματος υποκαθίστανται ρυπογόνα καύσιμα
- Ανεξάρτητη λειτουργία από τις υδρολογικές συνθήκες και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής
- Αξιοποίηση των υδατικών πόρων της περιοχής με ελάχιστες απώλειες νερού άρα δεν περιορίζεται το διαθέσιμο δυναμικό της λίμνης Καστρακίου
- Συμβολή στην αύξηση της βιοποικιλότητας και των πληθυσμών συγκεκριμένων ειδών που ευνοούνται από λιμναία οικοσυστήματα

- Καλύτερη αξιοποίηση της υπάρχουσας και λειτουργούσας υδροδυναμικής εγκατάστασης του υδροηλεκτρικού έργου Καστρακίου
- Αισθητική αναβάθμιση της περιοχής με την κατασκευή δύο μεγάλων τεχνητών λιμνών καθώς και με την προστασία του φυσικού τοπίου εξαιτίας της κατασκευής υπόγειων έργων, αγωγών και σταθμών παραγωγής

#### Οφέλη στην Τοπική Κοινωνία

- Δημιουργία 900 θέσεων εργασίας κατά την διάρκεια της κατασκευής του έργου (εκτιμώμενος χρόνος περάτωσης εργασιών τα τέσσερα χρόνια)
- Πρόκειται για έργο με εγχώρια προστιθέμενη αξία της τάξης του 70% με αποτέλεσμα περί τα 350 εκ. ευρώ να διατεθούν στην ελληνική αγορά
- Κατά τη λειτουργία του έργου θα δημιουργηθούν 60 νέες θέσεις εργασίας εξειδικευμένου και βοηθητικού προσωπικού, προερχόμενου κυρίως από την ευρύτερη περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας
- Χρησιμοποίηση μηχανημάτων και πρώτων υλών από την τοπική κοινότητα
- Αντισταθμιστικά οφέλη που θα προσδιοριστούν σε συνάρτηση των ακαθάριστων εσόδων
- Κατασκευή συνοδών έργων απαραίτητων για την υλοποίηση του βασικού έργου, που αναλύθηκαν παραπάνω και δεν θα επιβαρύνουν τους δημότες της περιοχής
- Τουριστική αναβάθμιση της περιοχής μέσω της ανάπτυξης εναλλακτικών μορφών τουρισμού



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή κάνουν ολοένα και πιο συχνά την εμφάνισή τους τις τελευταίες δεκαετίες στον πλανήτη μας εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων παραγωγής ρύπων που σχετίζονται άμεσα από τα ορυκτά καύσιμα. Για την απεξάρτηση από αυτά, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνεται ραγδαία παγκοσμίως φανερώνοντας πως πρόκειται για το μέλλον της ενέργειας. Εξαιτίας όμως των ευμετάβλητων καιρικών συνθηκών από τις οποίες οι ΑΠΕ είναι άρρηκτα συνδεδεμένες δημιουργείται η ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας με σκοπό την χρησιμοποίησή της σε περιόδους μη επαρκούς ηλιοφάνειας και αιολικού δυναμικού. Προς το παρόν, δύο είναι οι κύριες τεχνολογίες για μεγάλης κλίμακας αποθήκευση ενέργειας. Οι μπαταρίες λιθίου πρόκειται να μας απασχολήσουν ιδιαίτερα στο μέλλον καθώς την τελευταία δεκαετία εξαιτίας της προόδου της τεχνολογίας παρατηρείται μεγάλη μείωση του κόστους κατασκευής τους. Με τα τωρινά δεδομένα όμως, η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα για μεγάλης κλίμακας έργα με αποτέλεσμα να μην μπορούν να γίνουν σχέδια για την έντονη χρησιμοποίησή της. Τα παραπάνω, καθιστούν την αντλησιοταμίευση την πιο τεχνολογικά ώριμη, δοκιμασμένη αλλά και οικονομικά αποδοτική λύση καθώς αποτελεί το 97% της συνολικά διαθέσιμης αποθηκευτικής δυνατότητας παγκοσμίως.

Στην Ελλάδα λειτουργούν δύο συστήματα αντλησιοταμίευσης συνολικής ισχύος περίπου 700 MW και στο αδειοδοτικό στάδιο βρίσκονται άλλα δύο. Το σύστημα αντλησιοταμίευσης Αμφιλοχίας συνολικής ισχύος 680 MW και το σύστημα αντλησιοταμίευσης στο Αμάρι Κρήτης ισχύος 140 MW τα οποία με την κατασκευή τους θα υπερδιπλασιάσουν την αποθηκευτική ικανότητα της χώρας σε ενέργεια. Δυστυχώς τα παραπάνω έργα λιμνάζουν και δεν μπορούν να ξεκινήσουν καθώς δεν υπάρχει νέα νομοθεσία, η οποία να καθορίζει το πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο αυτά τα έργα θα λειτουργούν και με ποιους οικονομικούς όρους θα το κάνουν. Επιπλέον, στην ηπειρωτική Ελλάδα υπάρχουν 36 ταμιευτήρες, 16 από τους οποίους είναι μέρος υδροηλεκτρικών έργων και 20 που είναι για άλλες χρήσεις, οι οποίοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία συστημάτων αντλησιοταμίευσης καθιστώντας τη χώρα μας μια ενεργειακή μπαταρία η οποία θα είναι σε θέση να υποστηρίξει τις ενεργειακές απαιτήσεις της.

Μέσω της αποθήκευσης ενέργειας και συγκεκριμένα μέσω των υβριδικών συστημάτων, μπορεί να γίνει ένα μεγάλο βήμα στην αντιμετώπιση του προβλήματος ηλεκτροδότησης των ελληνικών νησιών. Ένα υβριδικό σύστημα για παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας έχει τη δυνατότητα να καταστήσει τα νησιά ηλεκτρικά αυτόνομα από την ηπειρωτική Ελλάδα και να διευκολύνει την καθημερινότητα των νησιωτών οι οποίοι συχνά ταλαιπωρούνται από διακοπές ρεύματος.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] "A Short History of Energy", *Union of Concerned Scientists*, 2006. [Online]. Available: <https://www.ucsusa.org/resources/short-history-energy>. [Accessed: 26-Oct- 2019].
- [2] "Timeline: The history of wind power", *the Guardian*, 2008. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/environment/2008/oct/17/wind-power-renewable-energy>. [Accessed: 16- Oct- 2019].
- [3] "Outline History of Nuclear Energy", *World Nuclear Association*, 2019. [Online]. Available: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx>. [Accessed: 16- Oct- 2019].
- [4] "Electricity Information 2019: Overview", *IEA Webstore*, 2019. [Online]. Available: <https://webstore.iea.org/electricity-information-2019-overview>. [Accessed: 23-Oct- 2019].
- [5] "Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at nearly 11 billion around 2100 | UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs", *UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs*, 2019. [Online]. Available: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>. [Accessed: 23- Oct- 2019].
- [6] "International Energy Outlook 2019", *Eia.gov*, 2019. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>. [Accessed: 18- Oct- 2019].
- [7] "Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA", *US EPA*, 2019. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>. [Accessed: 23- Oct- 2019].
- [8] S. Kulp and B. Strauss, "New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding", *Nature News*, Nature Publishing Group. [Online]. Available: [29- Oct- 2019]
- [9] "The Rio Declaration on Environment and Development (1992)", *The United Nations Conference on Environment and Development*.

- [10] "What is the Kyoto Protocol", *Unfccc.int*, 2017. [Online]. Available: [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol). [Accessed: 15- Nov- 2019].
- [11] "195 χώρες υιοθετούν την συμφωνία για την κλιματική αλλαγή -12 Δεκεμβρίου 2015", *Ambassade de France en Grèce - Πρεσβεία της Γαλλίας στην Ελλάδα*, 2019.
- [12] "The end of fossil fuels", *Ecotricity.co.uk*. [Online]. Available: <https://www.ecotricity.co.uk/our-green-energy/energy-independence/the-end-of-fossil-fuels>. [Accessed: 15- Nov- 2019].
- [13] "ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ", *Ypeka.gr*. [Online]. Available: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=285&language=el-GR>. [Accessed: 15- Nov- 2019].
- [14] R. Huggins, *Energy storage*. New York: Springer, 2010.
- [15] G. Masters, *Renewable and efficient electric power systems*. New Jersey: John Wiley & Sons, pp. 186-210.
- [16] L. Anastasopoulos, *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας με τη μέθοδο Βιομάζας και οι βασικές εφαρμογές της*
- [17] "The Solar Resource", *Union of Concerned Scientists*, 2015. [Online]. Available: <https://www.ucsusa.org/resources/solar-resource>. [Accessed: 15- Nov- 2019].
- [18] "ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ", *Ypeka.gr*, 2020. [Online]. Available: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=287&language=el-GR>. [Accessed: 28- Nov- 2019].
- [19] "Ανεμογεννήτριες", *Cres.gr*. [Online]. Available: [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_windmill.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm). [Accessed: 28- Nov- 2019].
- [20] "ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ", *Ypeka.gr*. [Online]. Available: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=484&language=el-GR>. [Accessed: 28- Nov- 2019].
- [21] "Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | Υδροηλεκτρική", *Ypeka.gr*. [Online]. Available: <http://www.ypeka.gr/rescampaign2008/ydrohlektрики.html>. [Accessed: 29- Nov- 2019].
- [22] "Types of Hydropower Plants", *Energy.gov*. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>. [Accessed: 29- Nov- 2019].
- [23] Αγγελίδης, Π., *Έργα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Σημειώσεις μαθήματος: Υδροδυναμικά Έργα, Κεφάλαιο 6
- [24] "How Energy Storage Works", *Union of Concerned Scientists*, 2015. [Online]. Available: <https://www.ucsusa.org/resources/how-energy-storage-works>. [Accessed: 29- Nov- 2019].
- [25] «Επικουρικές Υπηρεσίες και Εφεδρεία Ενέργειας», Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Αθήνα, 2003.

- [26] Κατσανεβάκη, Α. (2018). Συστήματα Αντλησιοταμίευσης – Εφαρμογή σε Υφιστάμενες Υποδομές (Λίμνη Πλαστήρα), Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- [27] Παπαντώνης, Δ. (2009). Νέες προοπτικές για την Ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα, Ιωάννινα.
- [28] "Compressed Air Energy Storage", *Caes.pnnl.gov*, 2019. [Online]. Available: <https://caes.pnnl.gov/>. [Accessed: 11- Dec- 2019].
- [29] Χαλατσάκος, Ο. (2017). Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τεχνολογίες και ρυθμιστικό πλαίσιο, Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ – Νομική Σχολή & Τμήμα πολιτικών Μηχανικών
- [30] Γιαννόπουλος, Ε. (2014). ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ, Διπλωματική Εργασία, Χανιά: Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
- [31] Σ. Τσοτουλίδης & Α. Σαφάκας, "Καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Κυψελών Καυσίμου – Εφαρμογές", *Library.tee.gr*. [Online]. Available: [http://library.tee.gr/digital/m2483/m2483\\_tsotoulidis.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2483/m2483_tsotoulidis.pdf).
- [32] M. Brain, "How Lithium-ion Batteries Work", *HowStuffWorks*. [Online]. Available: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery.htm>.
- [33] "Sodium Sulfur Battery", *Ngk.co.jp*. [Online]. Available: <https://www.ngk.co.jp/nas/specs/>. [Accessed: 13- Dec- 2019].
- [34] P. Dvorak, "Battery stores 40 MW for Fairbanks, Alaska emergencies", *Windpower Engineering & Development*, 2011. [Online]. Available: <https://www.windpowerengineering.com/battery-stores-40-mw-for-ankorage-emergencies/>.
- [35] H. Chen, T. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li and Y. Ding, "Progress in electrical energy storage system: A critical review", *Progress in Natural Science*, vol. 19, no. 3, pp. 291-312, 2009. Available: 10.1016/j.pnsc.2008.07.014.
- [36] T. Letcher, *Storing energy: with special reference to renewable energy sources*. Oxford: Elsevier, 2016.
- [37] Γ. Μαλιώτης, "Φυγοκεντρικές αντλίες", *Metadosi-ischios.gr*. [Online]. Available: <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=76>. [Accessed: 16- Dec- 2019].

- [38] R. Koronowski, "The Inside Story Of The World's Biggest 'Battery' And The Future Of Renewable Energy", *Thinkprogress.org*, 2011. [Online]. Available: <https://thinkprogress.org/the-inside-story-of-the-worlds-biggest-battery-and-the-future-of-renewable-energy-8984e81283c/>. [Accessed: 15- Dec- 2019].
- [39] "ΕΡΓΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ", *Terna-energy.com*. [Online]. Available: <http://www.terna-energy.com/el/activities/?catid=b61fbb13-cdbf-43b0-9b4f-9428e482f3e7>. [Accessed: 05- Jan- 2020].
- [40] Ενημερωτική Εκδήλωση για το Έργο Αντλησιοταμίευσης Αμφιλοχίας, *Σύστημα Αντλησιοταμίευσης Αμφιλοχίας: Σύνοψη Έργου*, Αθήνα, 13 Δεκ. 2016
- [41] Τσικνάκου, Π., Μαυρονικολάου, Ν., Μουτάφης, Ι., & Στεφανάκος, Ι. *Σύστημα Αντλησιοταμίευσης στην Αμφιλοχία. Γενική Διάταξη έργων – Άνω Ταμιευτήρες – Φράγματα & συναφή Έργα*. 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Φραγμάτων και Ταμιευτήρων: Διαχείριση Έργων και προοπτικές ανάπτυξης, Αθήνα, 12 – 15 Οκτ. 2017
- [42] "Μελέτες αντλησιοταμίευσης "Άγιος Γεώργιος" και "Πύργος" στην περιοχή της Αμφιλοχίας | ΣΟΦΙΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΕ", *Sofios.gr*. [Online]. Available: <http://www.sofios.gr/projects/meletes-antlisotamiefsis-agios-geo>. [Accessed: 06- Jan- 2020].
- [43] Απόφαση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων του έργου: «Έργα αντλησιοταμίευσης «Άγιος Γεώργιος» και «Πύργος» και συνοδά τους έργα», Αθήνα , 11 Ιανουαρίου 2018